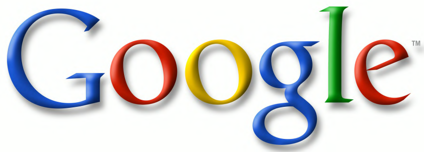
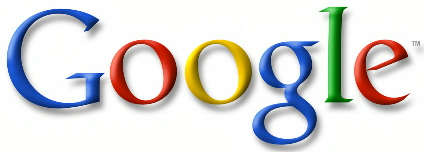




WHITNEY LIBRARY,

HARVARD UNIVERSITY.



THE GIFT OF

J. D. WHITNEY,

Sturgis Hooper Professor

IN THE

MUSEUM OF COMPARATIVE ZOÖLOGY

ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

MM.

CORDIER, insp. gén., membre de l'Acad. des Sciences, profess. de géologie au Muséum d'hist. naturelle, *président*.

DE BOUREUILLE, directeur des mines au ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

DUFRÉNOY, insp. gén., directeur de l'École des mines, membre de l'Acad. des Sciences, profess. de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle.

ÉLIE DE BEAUMONT, sénateur, insp. général, membre de l'Acad. des Sciences, professeur de géologie au Collége de France et à l'École des mines.

THIRRIA, inspecteur général.

COMBES, inspecteur général, membre de l'Académie des Sciences, profess. d'exploitation des mines.

MM.

JUNCKER, inspecteur général.

LEVALLOIS, inspecteur général.

MARROT, inspecteur général.

LE PLAY, ingénieur en chef, professeur de métallurgie.

DE SÉNARMONT, ingénieur en chef, membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie.

DE VILLENEUVE, ingén., professeur de législation des mines.

PIÉRARD, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général.

RIVOT, ingén., prof. de docimasie.

DE CHEPPE, ancien chef de la division des mines.

COUCHE, ingénieur, professeur de chemins de fer et de construction, *secrétaire de la commission*.

DELESSE, ingén., *secrétaire-adjoint*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des* ANNALES DES MINES, rue du Dragon, n° 30, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Ce, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT;

RÉDIGÉES

Par les Ingénieurs des Mines,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

CINQUIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME V.

PARIS.

CARILIAN-GŒURY ET Vve DALMONT,

LIBRAIRES DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, 49.

1854



BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1854.

FRANCE.

AGENDA pour servir sur le terrain à MM. les officiers-élèves de l'École d'état-major. In-18. Prix : 4 fr.

AIDE-MÉMOIRE général et alphabétique des ingénieurs; par *G.-Tom Richard*, ingénieur. In-8. L'ouvrage complet : 30 fr.

ALMANACH rural du bon savoir. In-18. Prix : 50 cent.

ALMANACH et ANNUAIRE des bâtiments; des travaux publics et de l'industrie; par *P.-F. Sageret*. In-18. Prix : 4 fr. 50 cent.

ANNUAIRE pour l'an 1854. In-18. Prix : 1 fr.

APERÇU sur les eaux minérales de Saint-Sauveur-les-Bains; par *J.-M. Peyramale*, In-18.

ARITHMÉTIQUE théorique et pratique; par un ancien instituteur. 2 vol. in-18.

ARPENTAGE et géodésie pratiques; par *J.-B.-A. Thorel*. In-4. Prix : 4 fr.

CATALOGUE méthodique et descriptif des vertébrés fossiles; par M. *Pomel*. In-8. Prix : 3 fr.

CHEMIN de fer hydraulique; par M. *L.-D. Girard*, ingénieur civil. In-4. Prix : 10 fr.

CHIMIE AGRICOLE. Analyses comparatives des cendres d'un grand nombre des végétaux; suivies de l'analyse des différentes terres végétales; par M. *P. Berthier*. In-8. Prix: 2 fr. 50 cent.

CHIMIE photographique, contenant les éléments de chimie expliqués par les manipulations photographiques, les procédés, etc.; par MM. *Barreswil* et *Daranne*. In-8. Prix : 5 fr.

CONSIDÉRATIONS générales sur les serre-rails et sur les table-rails (systèmes Barberot). In-8.

COURS élémentaires de chimie, contenant toutes les questions de chimie exigées d'après le programme de 1852 ; par M. *Deguin*. 4e édition refondue et considérablement augmentée. In-8. Prix : 5 fr.

COURS élémentaire d'astronomie ; par M. *Delaunay*. In-12.

COURS de mécanique ; par M. *Duhamel*. In-8. Prix : 12 fr.

DESCRIPTION des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris. Publiée par les ordres de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, tome XV. In-4. Prix : 16 fr.

DESCRIPTION des poissons fossiles provenant des gisements coralliens du Jura dans le Bugey ; par *Victor Thiollière*. In-folio. Prix : 20 fr.

ÉTUDES géologiques faites sur le bassin houiller de la Sarre ; par M. *E. Jacquot*. In-8.

ÉTUDES sur les appareils électro-magnétiques ; par M. *Martin de Brettes*. In-8. Prix : 12 fr.

ÉTUDES météorologiques mensuelles ; par M. *Aimé Drian*, ingénieur des mines. In-8.

GÉOMÉTRIE des ouvriers ; par *A. Rispail* et *A. Gautier*. In-18. Prix : 2 fr.

HISTOIRE des progrès de la géologie de 1834 à 1852 ; par *A. d'Archiac*. In-8. Prix : 8 fr.

HISTOIRE naturelle générale des règnes organiques ; par M. *Isidore-Geoffroy Saint-Hilaire*. In-8. Prix : 8 fr.

MANUEL de l'émigrant aux mines d'or de l'Australie ; par un mineur. In-8. Prix : 1 fr.

MANUEL des aspirants aux fonctions de conducteur et d'agent-voyer ; par *L.-L. Vauthier* et *Allyre Bureau*. In-12. Prix : 6 fr.

MANUEL du conducteur des ponts et chaussées ; par *E. Endrès*. 2 vol. in-8. Prix : 3 fr. 50 cent.

MARSH et sa méthode. In-8. Prix : 2 fr. 50 cent.

MÉMOIRE sur le drainage; par M. le baron *d'Hombres-Firmas*. In-8.

MÉMOIRE de la compagnie des mines de Blanzy. In-8.

MÉMOIRE adressé au gouvernement, par les délégués des industriels de Saint-Étienne, Lyon, Annonay, Rive-de-Gier, Saint-Chamond, Givors, Vienne, Roanne, Tarare, Villefranche, etc. In-4.

MÉMOIRE sur la carbonisation du bois; par M. *Violette*. In-8.

MÉMOIRE sur les engrais; par *A. Chevalier* fils. In-8.

MÉMORANDUM ou Récapitulation des meilleurs procédés pour opérer sur papier par la voie sèche et la voie humide. Polissage des plaques de verre. Fabrication du collodion. Nouveau système d'albuminage. Épreuves positives sur verre et albumine. Théorie des bains d'argent.

MÉTHODES en usage pour reconnaître la quantité de salpêtre pur contenue dans le nitre brut; par le docteur *G. Werther*. In-8.

MONT-BLANC; par M. *A. Bravais*. In-12. Prix : 1 fr. 50 cent.

NOTICE sur la grande carte topographique de la France, dite carte de l'état-major; par le directeur du dépôt de la guerre, In-8.

NOTICE sur la vie et les ouvrages de M. L.-B. Francœur, membre libre de l'Institut; par M. *Francœur* fils. In-8.

NOTICE sur les eaux acidules, alcalines et ferrugineuses de Soultzbach; par le docteur *Aimé Robert*, de Strasbourg. In-8.

NOTICE sur les eaux minérales de Carcanières; par le docteur *Alibert* (*Constant*). In-8.

NOTICE sur les eaux minérales de Saint-Gervais (en Savoie); par le docteur *J.-F. Payen*. In-8.

NOUVEAU MANUEL des apirants au baccalauréat ès sciences; par *J. Langlebert* et *E. Catalan*. In-12. Prix : 2 fr. 50 cent.

NOUVELLE locomotive à vapeur sans tender; par M. *G. Laudet*. In-8.

QUELQUES points des sciences dans l'antiquité; par *B. Jullien*. In-8. Prix : 7 fr. 50 cent.

THÈSES présentées à la Faculté des sciences de Paris; par M. *G. Wertheim*. In-4.

THÉORIE générale des effets dynamiques de la chaleur; par M. *F. Reech*. In-4. Prix : 10 fr.

SOUVENIRS sur Gaspard Monge et ses rapports avec Napoléon. In-12.

TRAITÉ des arts céramiques; par *Alex. Brongniart*. 2 vol in-8, plus un atlas in-4. Prix : 28 fr.

TRAITÉ d'agriculture à l'usage des écoles et autres établissements d'instruction publique. In-18. Prix : 1 fr. 10 cent.

TRAITÉ d'électricité théorique et appliquée; par *A. de la Rive*, In-8. Prix : 9 fr.

TRAITÉ de charpente; par *J. Adhémar*. In-8 avec un atlas grand in-folio. Prix : 40 fr.

TRAITÉ de cristallographie; par *Auguste Huard*. Grand in-18. Prix : 2 fr.

TRAITÉ de paléontologie; par *J. Pictet*. In-8. Prix : 20 fr.

UNE solution de la question des houilles. In-8. Prix : 2 fr.

VOYAGE dans la Russie méridionale et la Crimée par M. *Anatole de Demidoff*. Grand in-8. Prix : 20 fr.

VOYAGE en Californie; par *Édouard Auger*. In-16. Prix : 1 fr. 50 cent.

MÉMOIRE sur l'établissement des arches de ponts; par M. *Yvon-Villarceau*. 1 vol. in-4. Paris, Bachelier.

ANGLETERRE ET ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

L. TURNBULL. *The Electro*... Le télégraphe électro-magnétique : son histoire, ses progrès, son état actuel. 2ᵉ édition. In-8 de 272 pages, avec de nombreuses gravures dans le texte. — Philadelphie.

Records... Annales de l'École des mines et des sciences appliquées aux arts. T. Iᵉʳ, parties 1 à 4. In-8.

G. HERDMAN. *A Treatise*... Traité de perspective linéaire et ses applications aux arts. In-8.

BIRD et BROOKE. *The Elements*... Éléments de la philosophie naturelle, ou Introduction à l'étude des sciences naturelles. 4ᵉ édition augmentée. In-8.

Dʳ PEREIRA. *Lectures*... Leçons sur la polarisation de la lumière, publiées par le Rév. Baden Powel. In-8.

A. CATLOW. *Popular*... Conchiologie élémentaire. 2ᵉ édition revue et augmentée. In-8.

LARDNER. *The Museum*. Répertoire des sciences et des arts. T. Iᵉʳ, in-12, avec gravures dans le texte.

Rév. J.-L. PETIT. *Architectural*... Études sur l'architecture en France. In-8, avec planches.

W.-T. BRANDE. *Lectures of*... Leçons de chimie organique appliquée aux arts ; mises en ordre par J. Scoffern. In-8.

R. HUNT. *Researches*... Recherches sur la lumière. Nouvelle édition revue et augmentée. In-8.

MURCHISON. *Siluria*... Description des roches les plus anciennes contenant des débris organiques. In-8, avec figures et cartes.

W.-R. HAMILTON. *Lectures*... Leçons sur les *Quaternions*, exposition d'une nouvelle méthode de calcul. — Dublin. 1 vol. in-8.

ED. CHESHÈRE. *Resultats*... Résultats de recensement fait dans la Grande-Bretagne en 1851. Exposé de la méthode suivie pour réunir les faits. — Londres. Broch. in-8.

W. FAIRBAIRN. *On the*... Sur l'application du fer et de la fonte aux constructions. — Londres. In-8.

L. et J. ELETCHEN. *Resultats*... Résultats de mesures micrométriques d'étoiles doubles, faites à Tarn-Bank de 1850 à 1854. Broch. in-4.

ITALIE ET ESPAGNE.

G. GALLO. *Studii*... Études de mécanique moléculaire. — Turin. Broch. in-8.

D. CHELINI. *Sulle*... Sur les formules fondamentales de la courbure des lignes et des surfaces. — Rome. Broch. in-8.

L. CICCOLINI. *Osservazioni*... Critique des écrits de Delambre relatifs au calendrier. — Rome. In-8.

L. PALMIERI. *Studii*... Études météorologiques faites à l'observatoire de Naples. — Naples. In-4.

M. MELLONI. *Ricerche*... Recherches sur le magnétisme des roches. — Naples. In-4.

D. CASIANO DE PRADO. *Mapa*... Cartes géologiques des provinces de Madrid et de Ségovie. 2 feuilles imprimées en couleur.

O. PIMENDEL. *Estudo*... Examen chimique de la graine de l'*Arachis hypogea*. Broch. in-4.

ALLEMAGNE, HOLLANDE ET SUÈDE.

E. BETTI. *Un Teorema*... Théorème sur la résolution des équations algébriques. — Rome. Broch. in-8.

TH. RESCHOFF. *Ueber der*... Sur l'urée considérée comme limite des transformations dans l'organisme. — Giessen. Broch. in-8.

J.-S. SCHWEIGGER. *Ueber die*... Sur le changement des pôles magnétiques de la terre et l'influence de ce changement.

A. DE HUMBOLDT. *Kleinere*... Opuscules scientifiques. T. Ier. Géognosie et physique du globe. — Stuttgart. In-8 et atlas.

C.-J. SUNDEVALL. *Berattelse*... Rapport sur les progrès de l'histoire naturelle. Partie concernant la classe des vertèbres et l'ethnographie. — Stockholm. In-8.

J.-V. Caras. *Ueber*... Sur la détermination de la valeur des caractères géologiques. — Leipzig. In-4.

J. Weisbach. *Lehrbuch*... Manuel du constructeur de machines. 3ᵉ partie, 5ᵉ et 6ᵉ livraison. — Brunswich. In-8.

F. Goldenberg. *Die Fossiles*... Insectes fossiles, de la formation houillère de Saarbrücke. — Cassel. Broch. in-4.

Wittwer. *Versuche*... Essai d'une statique des composés chimiques. — Munich. Broch. in-8.

Verhandelingen... Rapport de la commission chargée de la carte et de la description géologique du royaume des Pays-Bas. 1ʳᵉ partie. — Harlem. In-4.

Hermann. *Ueber die*... Sur les mouvements de la population du royaume de Bavière. — Munich. In-4.

Wirchow. *Rede zur*... Examen de la cellulose. In-8.

F. Keber. *Mikroskopische*... Recherches microscopiques sur la porosité des corps. — Kœnigsberg. In-4.

P. Van Galen. *Zeil-Wund*... Instruction sur les vents et sur les courants. — Rotterdam. In-8.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, rue Racine, 26.

ANNALES

DES MINES.

NOUVELLES ANALYSES SUR L'HUREAULITE,

ESPÈCE MINÉRALE.

Par M. A. DAMOUR.

L'hureaulite, dont la découverte est due à M. Alluaud aîné, a été décrite et analysée par M. Dufrénoy (*Annales des mines*, 2e série, tome VII, page 137). Cette substance, peu répandue jusqu'à ce jour dans les collections, a été retrouvée récemment par M. Descloizeaux parmi des minerais de manganèse des environs de Limoges que M. Alluaud aîné avait mis à sa disposition. Les nouveaux échantillons présentent cette espèce sous deux variétés d'aspect : l'une en cristaux groupés, demi-transparents, offrant une teinte jaune hyacinthe, exactement semblables à ceux qui existent à l'École des mines, à Paris ; l'autre en cristaux blancs rosés, et formant des géodes au milieu du fer phosphaté vert. Il était intéressant de s'assurer si ces divers cristaux présentaient une composition identique ; et c'est sur l'invitation qui m'en a été faite par M. Dufrénoy, que j'ai entrepris leur analyse.

Les cristaux roses, aussi bien que les cristaux jaunes, dérivent du système prismatique rhomboïdal oblique.

J'ai trouvé pour leur densité :

Cristaux jaunes.	3,185
Cristaux roses.	3,198

Chauffés dans le tube, les cristaux jaunes, comme les cristaux roses, dégagent de l'eau neutre, prennent une teinte gris pâle ou gris jaunâtre clair. Chauffés au feu de réduction, sur la pince de platine, ils fondent aisément, colorent la flamme en vert pâle, et donnent une perle jaune hyacinthe dont la surface se hérisse et devient cristalline en refroidissant. Au feu d'oxydation, la perle devient brune, puis noire, et par moments elle lance de petites étincelles.

Fondus avec le borax et le sel de phosphore, les cristaux se dissolvent aisément, et donnent les réactions du fer et du manganèse.

L'acide sulfurique les dissout en totalité : la solution est jaune pâle. L'acide chlorhydrique les dissout également, sans dégagement de chlore. Ils sont encore aisément attaquables par l'acide azotique. Si l'on évapore la liqueur acide jusqu'à siccité, et si l'on chauffe le résidu jusqu'à 150 ou 200 degrés, le fer et le manganèse passent en grande partie à l'état d'oxyde ferrique et manganique, que l'eau ne peut redissoudre.

L'acide acétique ne dissout pas l'hureaulite. L'acide oxalique l'attaque aisément; il se forme un oxalate manganeux et ferreux peu soluble dans l'eau froide : dissous dans l'eau bouillante, cet oxalate est précipité en majeure partie par l'alcool. La liqueur alcoolique retient de l'acide phosphorique, de l'oxyde de fer et un peu d'oxyde de manganèse.

Fondus avec le carbonate de soude, les cristaux roses, comme les cristaux jaunes, sont décomposés : il se forme du phosphate de soude soluble dans l'eau, et des oxydes manganique et ferrique insolubles.

Pour opérer le dosage de l'eau, on a pesé un gramme d'hureaulite réduite en poudre, et on l'a placé dans une atmosphère desséchée par l'acide sulfurique. Après y être restée pendant quatre jours, cette poudre n'avait perdu qu'un milligramme de son poids. L'humidité hygroscopique étant ainsi enlevée, on a placé la poudre dans une nacelle en platine qu'on a introduite dans un tube de même métal venant aboutir à un tube de verre courbé en U, rempli de fragments de chlorure de calcium, et préalablement taré. On a chauffé avec précaution le tube en platine jusqu'au rouge cerise, en le faisant traverser par un courant de gaz acide carbonique, pour empêcher une suroxydation des oxydes de fer et de manganèse contenus dans le minéral analysé. Après le refroidissement du tube, on a fait passer dans l'appareil un courant d'air sec, et l'on a pesé le tube condensateur de l'eau. On a pris ensuite le poids de la nacelle. L'augmentation de poids observée sur le tube correspondait à la perte subie par la matière contenue dans la nacelle. En chauffant de nouveau cette matière jusqu'à fusion complète, son poids n'a pas varié.

On a obtenu des résultats presque identiques en faisant fondre le minéral renfermé dans un double creuset en platine, et évaluant la proportion de l'eau par la perte que la calcination avait déterminée. La matière fondue ne s'était pas suroxydée. Cet effet a eu lieu pour les cristaux roses comme pour les cristaux jaunes.

Un gramme d'hureaulite jaune, exposé à une température croissant successivement depuis 300 degrés jusqu'au rouge cerise, a perdu en totalité $0^{gr},1265$, ainsi qu'il suit :

	gr.
A + 300 degrés pendant deux heures. . . .	0,1030
Au rouge sombre pendant un quart d'heure.	0,1190
Au rouge cerise, la matière étant fondue. . .	0,1200

On voit que, sur ce minéral, l'expulsion de l'eau, déjà considérable à + 300 degrés, s'effectue complétement entre cette température et celle de rouge cerise.

La matière privée d'eau a été dissoute dans l'acide chlorhydrique : la dissolution étendue d'eau a été filtrée pour séparer un peu de quartz et de silice floconneuse; on l'a ensuite saturée d'ammoniaque. Il s'est formé un volumineux précipité de phosphate de manganèse et de fer qu'on a recueilli et lavé. La liqueur ammoniacale filtrée étant évaporée à siccité a laissé un faible résidu consistant en phosphate acide de manganèse et de fer : on n'y a pas trouvé d'alcali.

Le précipité obtenu en premier lieu, et réuni au résidu de l'évaporation de la liqueur ammoniacale, a été intimement mêlé avec huit à dix fois son poids de carbonate de soude, et chauffé pendant une heure au rouge sombre, puis jusqu'au rouge cerise jusqu'à fusion complète de la masse. On a repris par l'eau chaude qui a dissous le phosphate et le carbonate sodique en laissant déposer une poudre noire formée d'oxydes de manganèse et de fer. On a lavé cette poudre à plusieurs reprises avec de l'eau bouillante; la liqueur alcaline contenant le phosphate et le carbonate de soude a été sursaturée d'acide chlorhydrique : lorsque le dégagement de gaz acide carbonique a cessé, on l'a sursaturée d'ammoniaque, et la liqueur étant froide, on y a versé du sulfate magnésique ammoniacal. Il s'est précipité du phosphate ammoniaco-magnésien, dont le poids a servi à calculer la proportion d'acide phosphorique contenue dans la matière analysée.

Les oxydes de manganèse et de fer ont été dissous dans un mélange d'acide sulfurique et oxalique. On a chassé l'excès d'acide par l'évaporation, et l'on a chauffé le résidu au rouge sombre dans un creuset de platine,

suivant la méthode indiquée par M. H. Deville pour séparer et doser les oxydes de fer et de manganèse. On a repris par l'eau le résidu ainsi calciné. L'oxyde ferrique est resté sans se dissoudre ; on en a pris le poids après l'avoir calciné de nouveau : le sulfate de manganèse s'est dissous ; la dissolution évaporée à siccité a donné un résidu de sulfate manganeux qu'on a chauffé au rouge sombre, et dont le poids a servi à déterminer la proportion d'oxyde manganeux contenue dans le minéral.

Dans un essai à part, j'ai constaté que l'hureaulite ne contient pas de chlore.

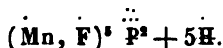
Trois analyses ont donné :

	Hureaulite jaune.	Hureaulite jaune.	Hureaulite rose.
Acide phosphorique....	0,3796	0,3820	0,3783
Oxyde manganeux....	0,4115	0,4204	0,4180
Oxyde ferreux.......	0.0810	0,0675	0,0873
Eau............	0.1235	0.1200	0,1160
Quartz et silice mélangés.	0.0035	0.0050	0.0030
	0,9991	0.9949	1.0026

Ces analyses donnent en moyenne :

Acide phosphorique....	0,3800	......	0,2140	2
Oxyde manganeux....	0,4167	0,0937	0,1111	1
Oxyde ferreux.......	0,0786	0,0174		
Eau............	0,1198	......	0,1064	1
Sable...........	0,0038			
	0,9989			

L'hureaulite aurait ainsi pour formule :



$$(\dot{Mn}, \dot{F})^5 \dddot{P}^2 + 5\dot{H}.$$

M. Dufrénoy, d'après son analyse, admet aussi le rapport de 1 : 2 entre les oxydes manganeux et ferreux considérés comme isomorphes, et l'acide phosphorique qui

constituent le minéral. La seule différence importante que l'on remarque entre les résultats qu'il a obtenus et ceux que je viens d'exposer, consiste dans la proportion de l'eau de combinaison.

L'identité de composition que la similitude des caractères chimiques faisait présumer, pour les cristaux roses comme pour les cristaux jaunes d'hureaulite, se trouve confirmée par l'analyse.

NOTICE

SUR LA MINE ET L'USINE D'IDRIA (CARNIOLE).

Par M. E. HUYOT, ingénieur des mines.

La mine et l'usine d'Idria ont été décrites par M. Héron de Villefosse dans la *Richesse minérale*. Vers 1840, de nouvelles idées ont été mises à l'essai, et ont donné lieu à la construction de nouveaux fours. Cette notice a pour but de faire connaître l'état actuel de la mine d'Idria, et les principaux détails du traitement des minerais dans les nouveaux fours; elle est divisée en quatre parties.

Première partie: Détails sur la position d'Idria; aperçu de la constitution géologique de la contrée.

Deuxième partie: Historique de la mine; mode d'exploitation; préparation mécanique des minerais.

Troisième partie: Description complète des fourneaux où on traite le cinabre; des résultats auxquels a conduit la comparaison de ces fourneaux.

Quatrième partie : Fabrication du vermillon par voie sèche; description des appareils nécessaires à cette fabrication.

PREMIÈRE PARTIE.

La chaîne des Alpes de Carniole, qui, à partir du Terglou, se dirige vers le sud-est, sépare les eaux de la Sau de celles de l'Isonzo. La première de ces rivières reçoit les eaux des torrents qui descendent le long du

versant oriental de la chaîne principale, et la seconde est grossie par les eaux qui viennent du versant occidental. La Sau se dirige d'abord de l'ouest à l'est, et fait ensuite un coude pour prendre la direction du sud-est; l'Isonzo, au contraire, coule d'abord de l'est à l'ouest, et prend ensuite une direction parallèle à celle de la Sau.

Versant oriental de la chaîne de Carniole. Jusqu'à Krainbourg, la Sau coule dans des vallées étroites limitées à l'ouest par les chaînons de la chaîne principale des Alpes de Carniole, et à l'est par ceux de la chaîne de Carinthie; mais au-dessous de Krainbourg ces vallées s'élargissent, et on rencontre, entre Laybach et Ober-Laybach, une plaine d'une très-grande étendue.

A Ober-Laybach la plaine cesse et les hauteurs reparaissent; on se trouve au pied de la chaîne principale qui se dirige vers la Croatie, et dont les versants sud et sud-ouest forment la presqu'île d'Istrie. Le point le plus élevé de cette chaîne est Adelsberg, renommé à juste titre par ses grottes. Jusqu'à Adelsberg, une végétation vigoureuse couvre les cimes des montagnes; mais au delà, en se dirigeant vers le sud-ouest, on n'aperçoit que des plateaux complétement nus jusqu'à Opschina. Là cessent les plateaux, et les montagnes s'inclinent vers la mer.

Pour se rendre d'Ober-Laybach à Idria, il faut traverser la chaîne principale elle-même : dans tout cet intervalle, elle ne présente aucun point d'une hauteur remarquable. Le sommet du Magdalenenberg, point le plus élevé de la chaîne entre Ober-Laybach et Idria, est situé à 410 mètres au-dessus d'Ober-Laybach.

La route qui conduit d'Ober-Laybach à Idria s'élève en pente très-douce jusqu'au sommet du Magdalenenberg; elle descend ensuite une pente très-rapide jusqu'à Idria.

Les montagnes qui séparent Ober-Laybach d'Idria sont presque entièrement formées par un calcaire gris

très-dur; dans certains points ce calcaire est recouvert par des schistes et un calcaire à cassure fétide, nommé *Stinkstein*, qui s'étendent vers le sud jusqu'à Planina. Ce stinkstein est quelquefois recouvert par un autre calcaire jaunâtre désigné sous le nom de *höhlen Kalk* (calcaire à cavernes).

Versant occidental de la chaîne de Carniole.

C'est au pied du versant occidental de la chaîne des Alpes de la Carniole que coule l'Isonzo. Cette rivière prend sa source au pied du Terglou, et reçoit, avant de se jeter dans la mer, les eaux de plusieurs petites rivières. L'Idriza est l'une des plus importantes. Après avoir coulé, à peu de distance de sa source, de l'ouest à l'est, elle vient passer à Idria, où son cours a exactement la direction sud-nord. Non loin d'Idria, près de Unter-Idria, elle se détourne de cette direction pour couler vers l'ouest et venir rejoindre l'Isonzo. Les vallées dans lesquelles coule l'Idriza sont excessivement étroites; elles sont encaissées entre d'énormes montagnes coniques. Des ravins (nommés *Querthäler*), qui l'hiver se transforment en torrents, se prolongent perpendiculairement aux vallées où l'Idriza suit son cours.

Idria se trouve au confluent de la Nicova et de l'Idriza, sur la rive droite de la première de ces rivières et sur la rive gauche de la seconde. Au point où la Nicova vient se réunir à l'Idriza, le vallon s'élargit, et de Querthal devient une vallée véritable. La Nicova coule de l'est à l'ouest; son cours est, à Idria, exactement perpendiculaire à celui de l'Idriza, dont la direction est sud-nord.

Constitution géologique des environs d'Idria.

Les roches que l'on rencontre aux environs d'Idria sont, à partir du mur du gîte :

1° Calcaire du mur (*Liegend Kalk*); — 2° grès du mur (*Liegend Sandstein*); — 3° schiste riche en cinabre (*Hauptlager Schiefer*); — 4° conglomérat calcaire te-

nant du cinabre ; — 5° schiste pauvre en mercure (*Silberschiefer*) ; — 6° grès rouge ; — 7° conglomérat calcaire ; — 8° stinkstein ; — 9° muschelkalk ; — 10° calcaire à cavernes.

Les *fig.* 1, 2, 3, 4, 5 et 8, Pl. III, représentent la position relative de ces différentes roches. Les caractères minéralogiques de ces roches sont les suivants :

1. Calcaire du Mur (Liegendkalk). Ce calcaire est gris foncé, excessivement compacte, à cassure esquilleuse. On peut l'étudier facilement, car il constitue, entre l'Idriza et la Sala, une montagne dans laquelle une route a été pratiquée. Des travaux exécutés à la poudre ont mis sur beaucoup de points le calcaire à découvert.

Les couches ont une stratification régulière, et leur direction est très-sensiblement la même que celle des couches du calcaire qui constitue le Magdalenenberg.

2. Grès du Mur (Liegendsandstein). Au mur du gîte existe un grès vert compacte qui renferme une quantité considérable de pyrites. Ce grès devient schisteux au contact du gîte ; il ne forme, du reste, qu'une couche d'une faible épaisseur.

3. Schiste riche en cinabre. Ce schiste est généralement noir ; sa couleur varie avec sa teneur. Le schiste le plus riche est d'une couleur foncée, d'un aspect terne ; le schiste pauvre est, au contraire, plus clair et plus brillant. Ce schiste est très-bitumineux ; il renferme une matière particulière, l'idrialine ; elle jouit de la propriété de s'enflammer à l'air, et déjà elle a causé deux incendies très-graves : le premier, en 1803, nécessita l'inondation de la mine ; le second, en 1836, fut moins considérable. Le schiste renferme quelques parties calcaires, mais en très-petite quantité : l'effervescence, sous l'action d'un acide, est très-faible. On rencontre aussi dans le schiste quelques rares cristaux de gypse.

4. Conglomérat calcaire. Cette roche existe au toit du gîte proprement dit ;

elle est formée d'une pâte qui présente tous les caractères d'un grès à grains très-serrés, dans laquelle se trouvent englobés des noyaux de calcaire du mur. La pâte est rougeâtre, et semble une transition au grès rouge que l'on rencontre au-dessus du schiste pauvre. Ce conglomérat renferme certaines parties assez riches en cinabre pour qu'on puisse les soumettre avec avantage à la préparation mécanique.

5. Schiste pauvre en mercure (Silberschiefer).

Ce schiste est analogue à certaines parties du schiste riche; il se distingue de celui-ci par une couleur moins foncée et un aspect plus brillant. Il forme une masse considérable, qui en certains points atteint une puissance de 40 klafters (78^{m},4). Le cinabre y est disséminé en parcelles très-petites souvent invisibles : ce schiste est très-pauvre et il est rare d'y trouver certaines parties tenant 18 lods (1/2 p. 100).

6. Grès rouge.

Ce grès est formé de grains quartzeux d'une grosseur très-uniforme : il se présente tantôt avec un grain très-fin, tantôt avec un grain un peu plus gros. La pâte est très-rare dans ce grès. Il est trop friable pour être utilisé dans les constructions à l'intérieur de la mine. La couleur dominante dans ce grès est le rouge ; cependant sur le Magdalenenberg, on peut voir certaines parties présentant des couleurs jaunâtres et verdâtres et se rapprochant beaucoup du grès bigarré (bunter sandstein).

7. Conglomérat calcaire.

Ce conglomérat ne doit pas être confondu avec celui dont j'ai donné précédemment les caractères. On peut étudier ce conglomérat sur la route qui mène d'Idria à Ober-Laybach. Il s'y présente sur un développement d'une lieue environ.

Ce conglomérat peut se diviser en deux parties, distinctes par la couleur de la pâte et la nature des noyaux. La première partie se trouve au contact du calcaire, analogue au liegend-kalk, qui forme la base du Mag-

dalenenberg. La pâte est calcaire et grise; les noyaux de grosseurs différentes, depuis celle d'une noix jusqu'à celle de la tête, sont calcaires et parfaitement arrondis. Ce conglomérat constitue une roche d'une extrême dureté.

La seconde espèce de conglomérat se trouve immédiatement au-dessus de la précédente : la pâte est rougeâtre et ses noyaux calcaires; ils sont anguleux, et très-souvent tronqués sur certains angles. Cette roche est aussi d'une très-grande dureté.

8. Stinkstein. C'est un calcaire d'une couleur noirâtre, compacte, et dont la cassure fraîche exhale une odeur fétide. On ne peut pas voir cette roche à Idria même; mais entre Idria et Ober-Laybach elle affleure en certains points.

9. Muschelkalk. Calcaire compacte, gris-foncé, ne présente dans les environs d'Idria qu'un très-faible développement.

10. Calcaire à cavernes (höhlen kalk). Ce calcaire a beaucoup d'analogie avec le précédent : sa couleur est plus claire et plus jaunâtre. Il forme dans la chaîne des Alpes de Carniole des masses excessivement étendues.

La question de savoir à quel étage rapporter les roches que je viens de décrire et le gisement du cinabre est encore indécise.

En examinant la direction des couches du liegend-kalk, on trouve qu'elle est sensiblement de E. 36° S. à O. 36° N., ce qui répond à très-peu près au soulèvement du Thuringerwald. Cette formation est donc antérieure au terrain jurassique. L'indécision existe sur le point de savoir, si on doit rapporter le liegend-kalk et les schistes qui renferment le cinabre, au trias ou à la formation carbonifère. Les uns pensent que toute la formation appartient au trias; d'autres, s'appuyant sur ce que l'on rencontre quelquefois dans les schistes des morceaux d'anthracite, prétendent que le calcaire du

mur et les schistes appartiennent à la formation carbonifère : le petit nombre de fossiles que l'on a trouvés jusqu'à ce moment n'a pas permis de décider complétement la question.

DEUXIÈME PARTIE.

La mine d'Idria fut découverte en 1497, et les inventeurs en demeurèrent propriétaires pendant 81 ans. Ils se bornaient à recueillir le mercure natif ; plus tard, ils exploitèrent aussi le cinabre et le traitèrent dans des usines spéciales dont on ignore complétement la disposition. Les premières exploitations ont eu lieu, très-vraisemblablement, sur la rive gauche de la Nicova, où le schiste paraît à la surface. Les travaux furent abandonnés, à cause de la pauvreté de ces schistes, vers l'année 1506. Cette exploitation fut reprise dans le dix-huitième siècle, et on s'avança de plusieurs centaines de mètres dans la montagne dite Antoniberg et à soixante mètres environ en profondeur. Historique de la mine et de l'usine.

Le peu de richesse des schistes, le mauvais aérage établi dans ces travaux, et surtout un incendie violent qui s'y déclara en 1766, firent abandonner les exploitations établies sur ce point.

Vers la même époque, des travaux de recherche étaient exécutés sur la rive droite de l'Idriza, dans la montagne dite Magdalenenberg, et poussés jusque sous le lit de la rivière ; ces travaux furent abandonnés au milieu du dix-huitième siècle, à cause de la pauvreté des schistes et du danger des inondations qui forçaient à pousser les recherches à une profondeur considérable.

De toutes ces exploitations, la seule qui subsiste est celle de l'Erzberg, montagne comprise entre la Nicova et l'Idriza. Des accidents graves forcèrent à diverses reprises d'abandonner les travaux. En 1552, au niveau Mittelfeld, il se produisit un éboulement considérable qui coûta la vie à 50 piqueurs. Ce niveau porte encore, parmi les mineurs, le nom de Todtenteufe (niveau des morts) et on y cherche en certains points les minerais renfermés dans les schistes éboulés.

Vers 1803, un incendie se déclara au niveau Wasserfeld. Le feu se communiqua aux boisages, et les schistes privés d'appuis s'éboulèrent de tous côtés; l'incendie était monté jusqu'au troisième niveau, et tout faisait craindre la ruine de la mine, lorsque le directeur, M. de Sybold, prit le parti extrême d'inonder la mine. Les flammes n'avaient pas atteint les boisages du puits Thérèse, et on put amener par ce puits les eaux de l'Idriza. La mine fut transformée en un véritable bourbier, et il ne fallut pas moins de six mois pour rétablir l'exploitation.

Usine. Ce ne fut qu'en 1578, sous l'archiduc Charles, à qui appartenait Idria, que l'on apprit à chauffer dans des cornues le cinabre mélangé avec de la chaux. Ce mode de traitement dura jusqu'en 1752. A cette époque on prit pour type les fours d'Almaden, et on construisit à un kilomètre d'Idria, sur la rive gauche de l'Idriza, un fourneau semblable à ceux de l'Espagne. Ce fourneau fut modifié, et on opéra la condensation dans des chambres. Il n'existait qu'un de ces fourneaux lorsque l'usine d'Idria appartint à la France. Pendant tout le temps de l'occupation une activité très-grande fut développée, et c'est de cette époque que datent la création des routes aux environs d'Idria, les barrages soignés pour le flottage des bois, et le second four avec

des chambres de condensation. Jusqu'en 1839 ou 40, l'usine ne posséda que ces deux fours, qui existent encore sur la rive gauche de l'Idriza. On fit alors des essais pour traiter le cinabre dans des fours à reverbère, avec des tuyaux de condensation en fonte arrosés d'eau froide et reliant les fours aux chambres. Vers 1846, l'usine possédait huit fourneaux appartenant à ce type. Enfin il y a deux ans, des essais furent faits pour substituer aux fours anciens de véritables fours à chaux continus avec des chambres de condensation. Un fourneau de ce dernier type est actuellement en marche. Tous ces fourneaux sont distribués sur les deux rives de l'Idriza; les fours anciens et le four continu sont sur la rive gauche, les fours à reverbère (*flamofen*) sont sur la rive droite.

A l'usine est annexée une fabrique de cinabre artificiel. Au quinzième siècle les habitants se livraient déjà à cette fabrication, et dans certaines années la production de cinabre s'est élevée à 1000 centners (56.000 kil.). Vers 1726, on fit des efforts pour concentrer dans l'usine la fabrication du cinabre, et 900 centners (50.400 kil.) furent envoyés par la fabrique aux dépôts impériaux de Vienne et de Trieste. Ce n'est qu'à dater de 1782 que la fabrication du vermillon a pris à Idria un grand développement; et maintenant on convertit chaque année en vermillon, dans cette fabrique annexée à l'usine, la moitié environ du mercure extrait des minerais.

Le schiste riche en minerai est compris dans la montagne appelée Erzberg, située entre la Nicova et l'Idriza: il s'élève au-dessus du vallon à une hauteur de 350 pieds, mais le schiste riche ne s'élève que jusqu'au niveau de la galerie Saint-Antoine indiqué sur la Pl. III, *fig.* 4 et 6. Position du gîte, sa description.

L'Erzberg atteint une hauteur de 1.400 pieds (432^m) au-dessus du niveau de la vallée. Plusieurs galeries ont

été exécutées dans cette partie des schistes pauvres qui s'élève au-dessus du vallon; mais tous ces travaux sont maintenant abandonnés. Les travaux exécutés jusqu'à ce moment confirment cette opinion généralement admise que la richesse des schistes augmente avec la profondeur.

La direction du gîte est du sud-sud-est au nord-nord-ouest. Dans cette direction son étendue est de 400 klafters (756 mètres), et sa plus grande puissance en y comprenant le Silberschiefer est de 60 klafters (113^{m},40). La puissance de la partie riche du schiste est de 5 à 10 mètres. Le gîte descend régulièrement à partir de la surface jusqu'à une certaine profondeur; mais au delà de cette profondeur la régularité cesse, les schistes sont entremêlés avec des grès, des conglomérats, comme l'indique la Pl. III, *fig.* 6.

Les schistes comprennent de distance en distance des portions de calcaire du mur, très-dures et généralement très-pauvres. A Idria, ces masses calcaires ont reçu le nom de wände. Aux environs de ces masses calcaires le schiste s'appauvrit notablement; cette pauvreté des schistes se remarque aussi partout où l'on rencontre du mercure natif.

Mode d'exploitation.

Les schistes riches ne sont pas la seule partie du gîte que l'on exploite. Le conglomérat et quelques-unes de ces masses nommées wände tiennent souvent une quantité suffisante de cinabre pour être exploitées avec avantage: il n'y a lieu à distinguer les parties riches des parties pauvres qu'au moment de l'abatage.

Plan général.

Une galerie oblique au plan du gîte a été ouverte au niveau de la vallée, c'est la galerie Saint-Antoine (*fig.* 4 et 6, Pl. III) : cette galerie est la seule par laquelle les ouvriers pénètrent dans la mine et en sortent; jamais ils ne descendent ou remontent par les bennes d'extraction. Cette galerie est fermée par une grille de fer que le maître

mineur n'ouvre au commencement de chaque poste qu'après avoir fait l'appel des ouvriers.

A l'extrémité de cette galerie, au point où elle vient rencontrer le gîte, on en a pratiqué une seconde dans la direction même du gîte; on est ensuite descendu à un niveau inférieur, et on a pratiqué une autre galerie dans la direction du gîte, parallèlement à la première. Ces deux galeries ont ensuite été mises en communication par des cheminées ayant l'inclinaison du gîte.

Dans l'état actuel des travaux, il y a onze galeries pratiquées suivant la direction du gîte et reliées entre elles par des cheminées. La masse à exploiter est ainsi divisée en massifs rectangulaires.

Des galeries perpendiculaires à la direction du gîte ont été exécutées pour mettre les massifs à abattre en communication avec les puits d'extraction. Ces galeries devaient aussi servir à reconnaître le gîte du côté du toit. La *fig.* 6, Pl. III, donne une idée de ce système d'exploitation.

L'abatage des massifs compris entre deux cheminées et deux galeries, diffère suivant que l'on doit abattre des parties riches ou des parties pauvres. Abatage.

Ces massifs sont découpés dans le schiste riche qui ne présente pas une grande dureté et peut s'abattre avec le pic. Deux ouvriers travaillent à l'abatage d'un pareil massif. On établit dans l'une des cheminées limitant le massif, un boisage parfaitement soigné : cette cheminée est divisée en trois parties. Sur les côtés, contre les massifs à abattre, on dispose deux glissières servant à faire descendre dans la galerie inférieure le minerai abattu. Entre ces deux glissières on construit un escalier établissant la communication entre la galerie supérieure et la galerie inférieure. 1. Abatage des massifs riches.

Des cadres sont placés dans la cheminée de distance

en distance, et de chaque côté de l'escalier on pose deux estampes afin de soutenir le chapeau, dont la portée serait trop grande pour résister à la pression des schistes.

Une fois ces préparatifs terminés, on commence l'abatage. La longueur du massif à abattre, dans le sens de l'inclinaison du gîte, est de 15 klafters ($27^m,75$) en moyenne : sur ces 15 klafters on en abat 12, et on laisse à la partie inférieure et à la partie supérieure du massif deux murailles de schiste de 3 mètres environ d'épaisseur. A partir de là, les ouvriers prennent un front de taille de 2 mètres de largeur, abattent en s'avançant parallèlement à la galerie principale, depuis l'une des cheminées jusqu'à la seconde cheminée limitant le massif. Quand une semblable bande de schiste a été abattue, on remblaye immédiatement. Les remblais proviennent du percement des galeries pour les travaux de recherche, de l'abatage de certaines parties trop pauvres pour être soumises avec avantage à la préparation mécanique. D'autres matériaux venant de l'extérieur servent aussi de remblais; ils sont descendus dans la mine par les bennes d'extraction. Une fois le remblai terminé, on prend un front de taille de 2 mètres, et on abat la bande de schiste supérieure au remblai; les ouvriers s'élèvent ainsi, en remblayant constamment, jusqu'à la galerie supérieure.

2. Abatage des parties pauvres. Les parties pauvres du gîte se rencontrent aux environs des wände, qui ont souvent elles-mêmes une teneur suffisante pour être exploitées avec avantage. Dans les parties pauvres, il faut encore comprendre certaines parties du conglomérat intercalé entre le schiste pauvre et le schiste riche. La teneur du minerai doit être de 18 lods (1/2 p. 100) pour couvrir les frais d'exploitation et de préparation mécanique.

Les *fig.* 8, 9, 10, Pl. I, donnent les détails du mode d'exploitation d'une masse pauvre comprise au niveau Mittelfeld, entre les puits Florian et Kristallnig.

Cette masse pauvre était une de ces wände qui interrompent fréquemment la régularité du gîte. Elle est représentée par les lignes courbes 1, 2, 1', 2', 3', sections de cette partie du gîte, par des plans horizontaux situés à des distances de 1 pied ($0^m,316$), 2 pieds au-dessus et au-dessous de la galerie principale.

Cette masse calcaire touchait vers le nord au schiste pauvre en mercure (*Silberschiefer*), qui était trop pauvre pour être exploité avec avantage. Le champ d'exploitation devait donc être limité à ce schiste.

Pour abattre cette masse calcaire, on a commencé par la diviser par des galeries A, A, B, B, que l'on a poussées jusqu'au schiste pauvre. Le massif principal était ainsi divisé en massifs secondaires. Les ouvriers se placent à l'angle, et lorsque le premier a commencé l'abatage de la partie R, un second commence celui de R'. On dispose ainsi sur le massif un certain nombre d'ouvriers, chacun se trouvant en retard sur le précédent d'une longueur de 2 mètres environ.

Le calcaire qui constitue ces wände est excessivement dur; l'abatage se fait à la poudre. Les trous de mine se pratiquent à Idria avec des fleurets en acier bien trempé de 1 1/2 à 2 pieds de longueur ($0^m,46$ à $0^m,62$), et de 1 pouce de diamètre ($0^m,025$). Un ouvrier, dans un poste de huit heures, ne peut pas faire plus de deux trous de mine, et chaque trou de mine donne de 1 1/2 à 2 pieds cubes de roche abattue ($0^{m3},062$ à $0^{m3},046$). Dans une galerie haute de 6 pieds ($1^m,86$), large de 6 pieds ($1^m,86$), deux ouvriers n'avancent que de $1^m,896$ par mois.

Les minerais ainsi abattus sont distingués, en raison Classification des minerais.

de leur teneur et de leur apparence, sous les noms de *Stahlerz*, *Lebererz*, *Ziegelerz*, *Korallenerz*, *Branderz*, *Gediegen-Quecksilber*.

Stahlerz. Les minerais désignés sous le nom de stahlerze sont très-durs, d'un grain d'acier d'où leur vient leur nom. Ces minerais sont excessivement purs, et tiennent de 60 à 80 p. 100 de cinabre.

Ziegelerz. Ces minerais sont moins purs que les précédents; ils renferment des parties de schiste excessivement fines, qui sont tellement mélangées avec le minerai, que la masse paraît tout à fait homogène; leur teneur est très-variable.

Lebererz. Les minerais compris sous cette dénomination tiennent le milieu entre les deux premières espèces.

Corallenerz. Le cinabre rouge sombre se présente tantôt en masses, tantôt en mouches de dimensions très-variables, disséminées dans le schiste et le calcaire. Ce cinabre se rencontre souvent dans un schiste feuilleté qui présente tantôt la forme de boules, tantôt celle de lentilles, de demi-sphères, et ressemble beaucoup au corail : d'où vient à ce schiste, tenant du cinabre, le nom de korallenerz (minerai de corail).

Branderz. Sous le nom de branderz, on désigne un schiste très-tendre qui contient beaucoup de bitume. A la simple vue on juge facilement de sa richesse en matières bitumineuses; on peut s'en assurer en l'allumant; il continue à brûler très-activement : de là son nom de branderz (minerai inflammable).

Gediegen-quecksilber. Sous le nom de Gediegenquecksilber, on désigne à Idria le *mercure natif*. Ce n'est, du reste, que la traduction littérale de cette expression.

Le tableau n° 1 donne la production de la mine d'Idria en 1852.

TABLEAU N° 1. — *Production annuelle de la mine d'Idria, depuis novembre 1851 jusqu'à décembre 1852.*

	MERCURE MÉTALLIQUE.	MINERAIS.		MINERAIS FINS.		MINERAIS abattus par les piqueurs dans le percement des galeries.		SCHISTE tenant du mercure.		MENU DE LA MINE.		MINERAI A TRIER. (Scheidgang.)	
		Poids sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	Mercure contenu.
1er trimestre.													
Novembre 1851 Décembre 1851 Janvier... 1852	kil. »	kil. 162.428,00	kil. 7.049,28	kil. »	kil. »	kil. »	kil. »	kil. »	kil. »	kil. 3.211.224	kil. 35.782,00	kil. 1.502 254	kil. 7.252,00
2e trimestre.													
Février... 1852 Mars.... 1852 Avril.... 1852	0,70	194.488,56	9.429,70	119.225	10.248,00	»	»	»	»	1.673.736	40.282,48	1.609.458	9.901,18
3e trimestre.													
Mai..... 1852 Juin.... 1852 Juillet... 1852	»	125.292,00	5.538,96	»	»	»	»	»	»	2.121.249	34.337.52	935.223	5.937,12
4e trimestre.													
Août.... 1852 Septembre 1852 Octobre.. 1852	»	238.166,00	11.787,44	47.720	4.890.06	»	»	»	»	3 491.320	54.794,45	1.937.930	12,762,10
Production annuelle.	0,70	720.374,56	33.805,38	166.945	15.138,06	»	»	»	»	10.497.529	165.195,93	5.984.865	35.852,40

Les minerais abattus sont, dans la mine, divisés en deux catégories : minerais bons à fondre immédiatement, minerais à soumettre à la préparation mécanique.

Les premiers sont élevés au jour et jetés sur un crible qui les divise en *minerais* et *minerais fins* : dans les nombres écrits dans ces deux colonnes du tableau n° 1 sont compris les minerais abattus dans le percement des galeries par les piqueurs.

Les minerais à soumettre à la préparation mécanique sont désignés sous le nom de scheidgang ; ils sont jetés à la sortie de la mine sur des cribles classeurs. Ce qui passe à travers les cribles est désigné sous le nom de grubenklein (menu de la mine) ; ce qui reste sur les cribles garde le nom de scheidgang.

Le nombre des ouvriers employés dans la mine est de 563 : ils sont divisés dans les catégories suivantes :

Piqueurs	160
Boiseurs	46
Maçons	12
Manœuvres	86
Rouleurs	68
Balayeurs	49
Machinistes	20
Maîtres mineurs	2
Aides des maîtres	2
Aides chargés de surveiller un horizon déterminé de la mine	12
Maître charpentier	1
Veilleurs pour le feu	6

Prix de revient des 100 kilogrammes de minerai extrait.

D'après les données des ingénieurs d'Idria, le prix du centner de minerai extrait est de 14 kreuzers (0f,56), et en comptant les frais généraux il s'élève à 28 kreuzers, ou 2 francs les 100 kilogrammes. On peut établir ainsi qu'il suit le prix de revient d'un centner de minerai, y compris les frais d'administration.

Je supposerai deux piqueurs travaillant dans une galerie de dureté moyenne ; ils avancent dans cette galerie

de deux klafters par mois. Il y a par jour trois postes de 8 heures à 17 kreuzers (0f,68). Les deux piqueurs dépensent par mois de 18 à 20 livres de poudre à 30 kreuzer la livre. Dans un jour il n'y a sur le nombre total des piqueurs, qui est de 160, que 120 piqueurs présents au travail : 40 employés à l'extérieur sont destinés à remplacer au bout de 8 jours une brigade de 40. On atténue ainsi l'effet des vapeurs de mercure sur les ouvriers.

La quantité totale de minerai abattue en 1852 a été de 17.369.713 kil.; donc, en un mois, de 1.447.476 kil. Par conséquent deux piqueurs, en un mois, abattent en moyenne $\frac{1.447.476}{60} = 24.124$ kilogrammes.

Les frais spéciaux sont, pour l'abatage de cette quantité de minerais :

	fr.
156 postes de piqueurs à 17 kreuzers (0f,68)	106,08
Poudre : 19 livres à 30 kreuzers, 270 kreuzers	22,80
Bouage : 2 cadres par klaster à 5f,45 le mètre courant	20,64
Roulage : 406 voyages à 0f,04 le voyage	16,24
Remblais : —	16,24
Outils, réparation des pompes, 26 florins par mois . . .	62,80
Éclairage, 3fl,40k	8,00
Câbles (usure, enduit, etc.)	1,60
Main-d'œuvre pour l'extraction, 2 florins	4,80
	268,60

Donc pour 1 kilogramme de minerai extrait les frais spéciaux sont de $\frac{268^f,60}{24124} = 0^f,0108$, ou pour 100 kilogrammes de $1^f,08$.

Les frais généraux peuvent s'estimer comme suit :

	fr.
Construction des édifices, 400.000 florins	960.000
Construction des machines à vapeur (l'une a coûté 90.000 florins, l'autre de 50 à 60.000) et de toutes les machines nécessaires à l'exploitation ; cette construction représente une somme annuelle de	69.856
Fonds de roulement, 200.000 florins	480.000
Direction, frais de bureau, etc., 8.000 florins	19.200

A Idria, outre leur salaire, les ouvriers reçoivent à un prix constant un certain nombre de mesures de seigle, de blé, de la viande, etc., quel que soit le prix de ces substances. Il en résulte pour l'administration une perte, différence entre le prix réel de ces substances alimentaires et celui auquel elles sont livrées aux ouvriers. Comme à Idria le nombre des ouvriers est à très-peu près constant, cette perte l'est aussi, et on peut la classer dans les frais généraux. En 1852, elle a été de 29.107 florins (69.856 francs).

On aura donc la somme des frais généraux en prenant la somme des nombres suivants :

	fr.
Intérêt à 5 p. 100 de 960.000 francs. . .	48.000
— de 480.000 francs. . .	24,000
Machines diverses.	69.856
Direction, frais de bureau, etc.	19.200
	161.056

Donc, pour 1 kilogramme de minerai extrait, les frais généraux s'élèvent à $\frac{161.056}{17.639.713} = 0^{f},0092$.

Donc à $0^{f},92$ pour 100 kilogrammes.

Les 100 kilogrammes de minerai extrait reviennent donc à $1^{f}08$, augmenté de $0^{f},98$, ou à 2 francs, c'est-à-dire 28 kreuzers le centner. Les minerais sont tous essayés au sortir de la mine; on a trouvé que les 17.639.713 kilogrammes extraits tenaient 249.992 kilogrammes de mercure, c'est-à-dire $1^{k},43$ aux 100 kilogrammes, ce qui donne pour prix des 100 kilogrammes de mercure sur la mine, 138 francs.

Préparation mécanique.

La préparation mécanique est très-simple à Idria, surtout depuis l'introduction des fours à flamme, qui a supprimé la préparation de tout le menu de la mine (Grubenklein).

Le minerai pur est mis de côté dans la mine, élevé au jour et expédié à l'usine; toutes les autres espèces de minerais désignés sous les noms de mittelerz, pochgänge, waschgänge, sont soumises à la préparation mécanique. Le mittelerz est enrichi jusqu'à une teneur de 6 ou 7 p. 100, et le pochgänge jusqu'à 1 p. 100. La préparation du mittelerz et celle du pochgänge sont identiquement semblables. Je décrirai seulement l'une d'elles : quant à la préparation du wäschgänge, elle n'a plus à Idria la moindre importance.

Scheidage.

Les minerais élevés au jour sont déchargés des bennes dans de petits wagons circulant sur un chemin de fer mettant en communication les puits Sainte-Barbe et Thérèse avec l'atelier de scheidage (séparation). Les wagons se vident au-dessus d'un crible incliné, à larges mailles. Ce crible sépare les minerais en gros, qui reste sur le crible, et en moyen, qui passe à travers les mailles. Ce qui ne passe pas à travers le crible, se rend dans un atelier de scheidage, où on le classe en minerai propre à être expédié à l'usine, en minerai en gros morceaux destinés au fourneau Léopold, et en minerai à bocarder.

Ce qui passe à travers le premier crible tombe sur un second à mailles plus serrées, qui classe le minerai en moyen qui glisse sur la surface du crible et en menu (grubenklein), qui passe au travers. Ce qui glisse sur le second crible se rend dans une seconde maison de scheidage où le minerai est classé en minerai propre à être envoyé à l'usine, en minerai à bocard, qui comprend le mittelerz tenant 1 p. 100 et le pochgänge tenant 1/4 p. 100.

Tout ce qui passe à travers le second crible est expédié à l'usine et traité directement dans les fours à flamme.

Le tableau n° 2 donne pour l'année 1851-1852, les résultats des opérations de l'atelier de scheidage.

TABLEAU N° 2. — *Atelier de scheidage.*

	MINERAI A TRIER.		DIFFÉRENTES CLASSES DANS LESQUELLES CE MINERAI EST DIVISÉ.								MINERAI rejeté comme trop pauvre.	
			MINÉRAUX propres à être envoyés à l'usine.		MINERAI en gros morceaux servant au chargement du four Léopold.		MINERAI à bocarder.		SOMMES des minéraux ainsi séparés.			
	Poids du mineral sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	mercure contenu.		Perte p. 100.
Novembre 1851 / Décembre 1851 / Janvier.. . 1852	1.502.200	7.252,00	173.920	4.762,80	565.440	1.181,04	678.737	1.260,00	1.416,064	7.103,84	108.080	7,1
Février . . 1852 / Mars. . . . 1852 / Avril. . . . 1852	1.619.406	11.900,80	275.184	6.808,48	750.888	2.214,80	498.657	876,96	1.524.696	10.000,24	96.712	5,9
Mai . . . . 1852 / Juin. . . . 1852 / Juillet. . . 1852	975.223	5.647,20	111.720	4.422.32	292.433	772,80	400.946	750,00	805.069	5.945,12	129.976	13,8
Août. . . . 1852 / Septembre 1852 / Octobre. . 1852	1.937.936	12.844,69	307.160	9.303,60	550.200	1.130,64	922.796	1.708,00	1.790.328	12.272,24	157.152	8,1
Somme de toute l'année. . . .	5.984.865	37.641,69	877.984	25.297,20	2.153.851	5 299.28	2.409.285	4.594,96	5.536.157	35.321,54	492.521	8 2/10.

Je n'ai donc à m'occuper que de la préparation mécanique du minerai moyen; le gros étant, par un cassage au marteau, facilement réduit à l'état de minerai moyen.

Je me bornerai à décrire la préparation mécanique de mittelerz, celle les pochgänge étant identiquement la même. Préparation mécanique du minerai moyen (mittelerz Pochgänge).

Les minerais en sortant de l'atelier de scheidage sont soumis au bocard, puis traités aux cribles à bascules et aux cribles à secousses. Les minerais provenant de ces opérations, et trop pauvres pour être traités immédiatement, sont soumis à l'action d'un second bocard, et les schlamms produits sont ensuite lavés sur des tables à secousses.

Ce bocard a 26 flèches, et chacune d'elles pése 3 centners (168 kilogrammes). Bocard.

A ce bocard, est annexé un labyrinthe formé de deux parties. La première renferme quatre canaux ayant 12 pieds de long (3m,61) et 1 pied de large (0m,31). La seconde se trouve en contre-bas de la première, et est formée aussi de quatre canaux ayant les mêmes dimensions. Des cribles ayant un mouvement d'oscillation continu reçoivent les matières qui sortent des auges du bocard; les schlamms sont entraînés par l'eau, et ce qui reste sur les cribles est de nouveau repassé sous le bocard, et ce qui passe à travers les mailles est traité sur des cribles à bascule. Les mailles du premier crible ont 15 lignes de côté (0m,030). Sur ce crible reste une certaine quantité de minerai; ce qui passe à travers les mailles tombe sur un second crible à mailles plus fines, placé au-dessous du premier. Il y a 6 cribles superposés, ils ont chacun 2 pieds de côté (0m,62) et 7 pouces de levée (0m,175). Une série de cribles semblable est disposée près de la première. Cribles à bascule.

Le minerai, dans l'opération précédente, est classé en morceaux d'égale grosseur. Ce qui reste sur le premier crible est trié à la main et divisé en minerai à expédier à l'usine et minerai à bocard. Ce qui reste sur les cinq derniers cribles est traité sur cinq cribles à se- Cribles à secousses.

cousses. Ces cribles sont manœuvrés par des femmes dans des tonneaux pleins d'eau qui peuvent être mis en communication avec le labyrinthe. Dans le premier, les mailles ont 3 lignes (0^m,006) de côté, et dans le dernier (0^m,00013). Dans les cribles la lavée se sépare en trois couches. Au fond est le schlich propre à être traité immédiatement, au milieu une partie à traiter au bocard, à la partie supérieure une couche tout à fait pauvre qui est rejetée. Tout ce qui passe à travers un crible est traité sur le crible suivant. Les schlamms qui se déposent au fond des tonneaux sont envoyés au labyrinthe.

Bocard. Toutes les matières venant du premier crible à bascule, des cribles à secousses, sont traitées sous un bocard à 30 flèches. Tous les schlamms qui sortent de ce second bocard se rendent dans un labyrinthe semblable au premier, et de là dans les bassins de dépôt situés hors de l'atelier, et qui sont communs aux deux bocards.

Tables à secousses. Tous les schlamms qui se déposent dans les labyrinthes, et les bassins de dépôt sont traités sur les tables à secousse. L'atelier d'Idria renferme 8 de ces tables. Elles ont 12 pieds de long (3^m,72), 5 pieds de large (1^m,55), et elles sont divisées en trois parties situées à 8 lignes (0^m,016) en contre-bas l'une de l'autre. La partie la plus rapprochée de la tête de la table a une longueur de 7 pieds (2^m,17), la seconde 3 pieds (0^m,93), la troisième 2 pieds (0^m,62). Sur chacune des tables à secousses, on traite les schlamms provenant d'une partie déterminée du labyrinthe. L'inclinaison de chacune, la quantité d'eau fournie est réglée d'après la nature des schlamms à traiter. Les schlamms qui se déposent à la tête des tables sont envoyées à l'usine. On fait ensuite sur une même table diverses zones qui sont traitées sur des tables disposées pour des schlamms plus pauvres.

Le tableau n° 3 donne une idée des résultats de la préparation mécanique et de la perte énorme due à ce travail pendant l'année 1851.

ANNÉE 1852. TABLEAU N° 8.

	MATIÈRES A BOCARDER				PRODUITS.			DÉCHET				RESTE en minerai à bocard.	
	extraites de la mine.		bocardées.		Mercure métallique.	Schlichs de bocard.		sur ce qui sort du bocard.		sur le mercure.			
	Poids sec.	Mercure contenu.	Poids sec.	Mercure contenu.		Poids sec.	Mercure contenu.	En tout.	Pour cent.	En tout.	Pour cent.	Poids sec.	Mercure contenu.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kil.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
Reste de 1851	16.243,00	904,40	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Nov. 1851. .	251.909 20	468,22	163.542,40	357,70	»	22.220,80	331,80	141.321,60	86 2/5	56,00	17 2/10	252.614,80	1.014,92
Déc. 1851. .	205.800,00	564,50	184.836,00	690,60	»	27.771,52	352,24	178.028,48	87 2/5	337,82	48 1/5	237.565,00	843,64
Janv. 1852. .	219.026,08	273,71	180 774,72	395,36	»	24.428,32	271,18	194.597,76	86 2/5	124,70	31 3/10	275,814,56	721,98
1er trimestre	840 983,28	2.209,83	529.453,12	1.143,66	»	74,420,64	955,22	513.947,84	86 8/10	518,52	36 1/5	275.814,56	721,98

Tel est le résultat d'un trimestre; je donne dans ce même tableau le résultat de la préparation mécanique pendant une année.

Pendant toute l'année	2.499.235,00 164.243,00 2.663.478,00	5.502,56	2.112.488,00	4.427,03	5,04	285.528,96	3.129,58	1.825.224,00	86 4/10	1.293,04	29 2/10	550.928,00	1.065,40

Ce tableau nous montre que le déchet sur le schlich monte à 86,4 p. 100 et à 29,2 pour le mercure. La quantité de schlich obtenue est de 285258 kilogrammes tenant 3.129 kilogrammes de mercure. Donc en moyenne le schlich sortant des ateliers de la préparation mécanique tient 1,10 p. 100 en moyenne. On peut évaluer à 20f,10 le prix des 100 kilogrammes de schlich obtenus pour la préparation mécanique. A l'atelier de scheidages on en a obtenu 5.536.157 kilogrammes, et on a dépensé 16.435f,20. Ce qui donne pour 100 kilogrammes, 0f,27.

A l'atelier de préparation mécanique on a obtenu de 1851-1852, 285.258 kil. de schlich, et on a dépensé 10.970, c'est-à-dire 3f,84 pour 100 kil. de schlich.

La perte à la préparation mécanique étant de 86 p. 100, il faut 714 kilogrammes de minerai pour en donner 100 de schlich. Le prix de revient de 100 kilogr. de schlich est donc de 20f,10 estimé comme suit :

	fr
714 kilogr. de minerai à 2 fr. les 100 kilogr.	14,28
Main-d'œuvre pour sa préparation.	3,84
Scheidage.	1,92
	20,10

Waschgänge. Ces minerais, qui tiraient leur nom du mode de préparation à laquelle on les soumettait et qui consistait en une série de lavages, ne forment plus de catégorie à part depuis la construction des fours à flammes. Ils proviennent de l'abatage des schistes bitumineux ; et comme ils sont très-friables, ils ne donnent qu'une très-petite quantité de minerai en gros morceaux. A leur sortie de la mine, ils sont jetés sur les deux cribles qui servent à séparer le grubenklein du gros et du moyen. Ce qui reste sur ces cribles est réduit en menu par un cassage au marteau et mélangé au grubenklein pour être traité directement aux fours à flammes.

TROISIÈME PARTIE.

En faisant l'historique de la mine et de l'usine d'Idria, j'ai donné la composition de l'usine ; outre tous les fourneaux dont j'ai fait mention, l'usine possède encore des fourneaux destinés aux essais des minerais. Ces fourneaux sont au nombre de quatre : ils sont renfermés dans un bâtiment construit sur la rive gauche de l'Idria.

Fourneaux d'essai. Description.

Chacun des fourneaux d'essai est construit en briques, à l'exception des parois latérales et de la voûte ; deux plaques de fonte percées de trous permettent de faire passer les cornues. La voûte du fourneau est mobile. Les cornues sont placées sur des briques juxtaposées et formant un support continu.

Tous les minerais, sans exception, sont essayés : il n'entre dans l'usine aucune quantité de minerai sans que la teneur en mercure ait été préalablement déterminée. Un essayeur et un aide ont pour unique occupation l'essai des minerais.

L'essai se fait, comme dans un laboratoire, en chauffant le minerai, parfaitement pulvérisé, avec de la chaux en poudre ; l'essayeur fait le mélange des deux substances et charge les cornues avec une main en bois ; il les dispose dans le fourneau, ajuste les allonges, et lute soigneusement le col de la cornue et celui de l'allonge. Cela fait, l'aide allume le feu, qu'il entretient pendant tout le temps que l'essayeur le juge convenable. Le mercure condensé dans les allonges est pesé, et on en déduit la teneur du minerai.

Ce mode d'essai en grand présente pour le mercure

un inconvénient très-grave. Moins que pour toute autre substance, il donne une teneur approchant de la teneur réelle. Des essais ont été faits par M. Glowacky, directeur de l'usine d'Idria, afin de rechercher dans quelles limites pouvait être renfermée l'erreur commise. Il a fait des mélanges de mercure métallique et de soufre; et il a cherché par l'essai à connaître la teneur de ces mélanges. Il a obtenu les résultats suivants :

NUMÉROS des essais.	DE 100 LIVRES tenant en mercure.	ON OBTIENT dans les cas les plus favorables.	dans les cas les plus défavorables.
	livres.	du merc. contenu	
1	0,01 à 0,1	0,47	0
2	0,1 à 0,2	0,59	0,41
3	0,2 à 0,5	0,91	0,62
4	0,5 à 6	0,93	0,86
5	6 à 24	0,98	0,95
6	24 à 48	0,98	0,96
7	48 à 86	0,97	0,95

Pour des minerais ayant une faible teneur, l'erreur peut donc s'élever très-haut; comme les minerais essayés tiennent de 1 à 5 p. 100, l'essai n'indique qu'une teneur assez éloignée.

M. Glowacky a aussi constaté, dans ses expériences, que les cornues les plus éloignées du foyer donnaient pour un même minerai les résultats les plus exacts. Il était évident *à priori* qu'il devait en être ainsi : les cornues les plus rapprochées subissent, au moment où les plus éloignées sont arrivées à la température convenable pour l'essai, l'action d'une température excessivement élevée; les vapeurs de mercure acquièrent dans ces cornues une tension d'autant plus forte que la température est plus élevée, et passent à travers le lut, où une partie se condense.

Fourneau Léopold.

Le fourneau Léopold comprend trois parties : le four proprement dit, les chambres et la cheminée. (Voir la *Richesse minérale* de Héron de Villefosse.)

1° *Four proprement dit.* — Le four est lui-même formé de trois parties : la partie inférieure A est la chauffe ; le bois est placé sur des grilles en fer ; *bb* sont les portes du cendrier. Le chargement de la chauffe se fait par la porte C. Au-dessus de la chauffe est une seconde partie B, séparée de la partie inférieure par une voûte en briques laissant entre elles des intervalles. La troisième partie C est séparée de la seconde par une plate-bande en briques, percée d'ouvertures. Cette troisième partie est en communication avec les chambres de condensation.

Le four est entièrement construit en briques réfractaires ; les fondations sont en conglomérat d'une extrême dureté. Il y a quatre fours analogues accolés chacun d'eux à un système de chambres particulier et une cheminée particulière.

Des chambres de condensation.

A la suite de chaque fourneau, il y a sept chambres de condensation ; chacune d'elles a $9^m,50$ de haut. Les dimensions du rectangle qui forme la base des chambres sont $2^m,52$ et $3^m,15$. Chaque chambre présente deux ouvertures latérales, l'une à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure. Ces ouvertures livrent passage aux vapeurs de mercure.

Les parois des chambres sont en briques, recouvertes d'un enduit formé de chaux et de sable. La sole est faite d'argile fortement damée ; par-dessus est une maçonnerie, recouverte d'un second lit d'argile que l'on humecte et que l'on bat ensuite jusqu'à dessiccation complète. La sole consiste en deux plans inclinés

qui forment un thalweg, sur lequel coule le mercure, pour se rendre dans de petites fosses, mises en communication par un canal avec un réservoir commun. La dernière chambre présente une disposition particulière : dans cette chambre sont des plans inclinés en bois disposés en surplomb les uns au-dessus des autres; un courant d'eau continu ruisselle sur ces plans inclinés et vient tomber dans un canal en bois qui l'amène à l'extérieur.

Cheminée. La cheminée renferme plusieurs compartiments que les vapeurs de mercure traversent avant de se répandre dans l'atmosphère. Les plans de ce fourneau se trouvent dans la *Richesse minérale* de M. Héron de Villefosse.

Chargement du four Léopold. Les minerais qui doivent être chargés dans le fourneau Léopold sont déposés dans deux haldes voisines du fourneau : ils sont séparés en minerais en gros morceaux et en minerais de grosseur moyenne. Les parties pauvres tenant 1/2 p. 100 sont seules laissées à l'état de gros. Les morceaux riches plus gros que le poing sont cassés au marteau.

Il n'y a pas de personnel spécial affecté au service de ce four, qui, une fois mis en feu, marche seul. Lorsque l'on doit procéder au chargement et à la mise en feu, on prend dans la mine 160 ouvriers, 40 pour chaque four. Le travail commence à six heures du matin. Le surveillant distribue à chacun sa besogne, et le travail marche avec une excessive rapidité.

Chargement de la partie B. Un certain nombre d'ouvriers est employé à élever au niveau de la partie B, au moyen de brouettes roulant sur des plans inclinés, les minerais qui doivent y être chargés. Deux ouvriers pénètrent dans la partie B au moyen de la porte CC', et deux autres mineurs leur passent les minerais apportés des haldes.

On commence par charger dans le four les morceaux les plus gros et les plus pauvres que l'on a mis de côté dans la mine. Ces morceaux, qui ont de 3 à 5 décimètres cubes, sont disposés de manière à s'arc-bouter les uns les autres. On a pour objet de créer une voûte artificielle qui puisse remplacer la voûte en brique dans le cas où elle viendrait à se rompre. On choisit, pour former cette voûte, des minerais très-pauvres, parce que les minerais riches, contenant toujours une quantité considérable de schistes bitumineux, s'agglomèrent et forment une voûte continue qui ne permet plus à la chaleur de s'élever dans le four. Les deux ouvriers ménagent aux quatre angles des conduits facilitant le tirage. Par-dessus cette voûte artificielle, on place les minerais de grosseur moyenne, et on mélange aux minerais riches une certaine quantité de minerais pauvres afin d'empêcher l'agglomération. Le compartiment B du four n'est jamais complétement rempli de minerai, il reste toujours un pied d'intervalle ($0^m,31$) entre la partie supérieure de la charge et la plate-bande en briques.

Chargement de la partie C.

Le chargement de la partie C se fait en même temps que celui de la partie B. Deux ouvriers pénètrent dans la chambre C, et des rouleurs amènent au second étage, à l'aide de rampes, le minerai qui doit être chargé. Ce minerai est entièrement à l'état de poussière. Il provient du nettoyage des murs des chambres de condensation, des débris de vieux fourneaux réduits en poussière. La teneur de ces minerais s'élève souvent à 62 p. 100 ; l'addition de matières pauvres est ici entièrement nécessaire. Ces poussières sont mises dans des cassettes, espèces de cylindres en terre dont les rebords ont de 10 à 12 centimètres de hauteur.

Auprès de la chambre C, on dispose des cassettes

neuves destinées à remplacer toutes celles qui, dans la charge précédente, ont été fendues ou cassées dans le four. Les cassettes sont disposées les unes à côté des autres, mais jamais au contact, afin de laisser la dilatation s'effectuer librement; c'est aussi dans le même but que les ouvriers ne les placent jamais au contact des parois de la chambre.

Quand le chargement est terminé (celui auquel j'ai assisté a duré 1 heure 1/2), des maçons viennent fermer les portes des chambres B et C, et celles des chambres de condensation. Une muraille en briques, réunies par de la chaux, est faite dans chacune des portes C′, C″. Une maçonnerie semblable ferme l'ouverture de la première chambre de condensation la plus voisine du foyer. Les portes des autres chambres de condensation sont fermées par des pans en bois, et les joints sont exactement lutés avec de la chaux.

Mise en feu. Une fois tous ces préparatifs terminés, on procède à la mise en feu. Tous les ouvriers retournent à leurs travaux dans la mine, à l'exception de quatre qui allument le feu. Pour mettre les fours en feu, les quatre ouvriers commencent par mettre peu de bois dans les foyers, afin de chasser lentement la vapeur d'eau contenue dans les minerais, sans produire de dégagement de vapeurs mercurielles. (On a remarqué, en effet, que les vapeurs de mercure mélangées avec la vapeur d'eau se condensent beaucoup plus difficilement.) Ils augmentent graduellement l'intensité du feu en ajoutant du bois sur les grilles. Lorsque le four a chômé pendant quelque temps, il faut de quinze à vingt heures pour arriver à une température convenable. Lorsque le fourneau a marché la semaine précédente, douze heures suffisent pour la mise en feu. Dès que la température convenable est atteinte, on ferme toutes les portes de

la chauffe et du cendrier, et on abandonne le fourneau à lui-même pendant trois jours environ.

Le sulfure de mercure se grille sous l'action du courant d'air qui pénètre dans la chauffe par les ouvertures ménagées à dessein. Le soufre passe à l'état d'acide sulfureux et le mercure distille.

L'appareil usité à Idria pour la condensation du mercure se compose d'une série de chambres communiquant entre elles par des ouvertures placées tantôt à la partie supérieure, tantôt à la partie inférieure des parois. Appareil de condensation d'Idria.

Trois ou quatre heures après que la température convenable a été atteinte, on voit le mercure couler hors des chambres les plus voisines du foyer. Ce mercure ne provient pas du grillage du cinabre contenu dans les minerais, il provient des suies des et poussières chargées dans les cassettes, qui renferment de petites gouttelettes de mercure qui se volatilisent plus promptement. Ce n'est guère qu'au bout de dix ou douze heures que le mercure provenant du grillage du cinabre commence à paraître.

Il est intéressant d'étudier la marche de la condensation du mercure dans les chambres, ainsi que la nature des dépôts qui se forment sur les parois. Le tableau n° 4 permet de suivre facilement la marche de la condensation : les nombres inscrits dans ce tableau expriment des mesures autrichiennes ; mais comme il s'agit ici de rapports, la conversion en mesures françaises était complétement inutile. En examinant ce tableau, on trouve que, dans les premiers temps de la marche du fourneau, le dépôt des suies est beaucoup plus abondant sur les parois de la première chambre que sur celles d'aucune des autres, et que les dépôts sur les parois d'une chambre sont d'autant moindres que cette chambre est plus éloignée du foyer.

Tableau n° 4. — *Marche de l[…]*

Les nombres écrits dans ce tableau représentent, sur 1000 parti[…]

Intervalle séparant deux mises en feu.	Numéros des masses en feu.	Poussières et suies. Numéros des chambres. 1	2	3	4	5	6	7	Rauch-kammer	Somme.	Mercure métallique. Numéros des chambres. 1	2	3	4	5	6	7	Rauch-kammer.	Somme.
Jours.	1	516	147	108	117	59	39	20	»	1000	624	353	23	»	»	»	»	»	1000
8	2	99	57	219	381	178	66	»	»	1000	344	515	141	»	»	»	»	»	1000
8	3	52	87	245	315	229	38	34	»	1000	1	236	671	92	»	»	»	»	1000
7	4	48	204	191	249	158	118	32	»	1000	16	309	560	115	»	»	»	»	1000
7	5	143	103	254	188	147	165	»	»	1000	»	129	718	123	30	»	»	»	1000
7	6	29	77	155	227	256	227	29	»	1000	»	136	685	148	31	»	»	»	1000
8	7	144	140	363	124	157	36	36	»	1000	13	309	556	108	14	»	»	»	1000
7	8	62	275	463	90	61	34	15	»	1000	13	282	515	155	35	»	»	»	1000
10	9	71	190	182	236	182	92	48	»	1000	183	367	323	101	26	»	»	»	1000
8	10	63	188	293	134	220	70	32	»	1000	172	362	325	96	25	»	»	»	1000
7	11	118	197	215	237	118	79	36	»	1000	66	375	404	129	26	»	»	»	1000
7	12	167	41	25	375	233	150	9	»	1000	»	55	656	289	»	»	»	»	1000
7	13	142	121	285	192	168	92	»	»	1000	24	319	497	133	27	»	»	»	1000
7	14	120	86	319	171	201	103	»	»	1000	»	43	599	248	110	»	»	»	1000
7	15	»	130	261	196	174	239	»	»	1000	»	21	486	307	94	32	»	»	1000
7	16	»	66	197	164	342	231	»	»	1000	»	»	333	209	375	83	»	»	1000
7	17	»	100	240	195	280	185	»	»	1000	»	»	462	213	264	61	»	»	1000
7	19	»	92	368	139	309	92	»	»	1000	»	45	720	235	»	»	»	»	1000
7	18	»	191	173	59	323	234	»	»	1000	»	24	525	297	130	24	»	»	1000
7	20	»	110	193	143	330	224	»	»	1000	»	30	547	251	139	30	»	»	1000
7	21	»	88	149	131	237	195	»	»	1000	»	»	571	310	75	44	»	»	1000
8	22	»	43	195	129	416	217	»	»	1000	»	17	362	370	231	20	»	»	1000
7	23	»	45	148	135	672	»	»	»	1000	»	25	757	193	25	»	»	»	1000
7	24	»	391	609	»	»	»	»	»	1000	»	44	577	333	46	»	»	»	1000
7	25	30	77	462	123	308	»	»	»	1000	»	»	547	283	170	»	»	»	1000
7	26	»	67	200	333	400	»	»	»	1000	»	38	653	192	117	»	»	»	1000
7	27	»	77	186	160	577	»	»	»	1000	»	110	484	280	126	»	»	»	1000
7	28	123	116	202	156	202	179	22	»	1000	»	»	534	372	80	14	»	»	1000

ndensation dans le fourneau Léopold.

nombre de ces parties contenues dans chacune des chambres.

Intervalle séparant deux mises en feu.	Numéros des masses en feu.	MERCURE CONTENU DANS LES POUSSIÈRES ET LES SUIES. Numéros des chambres. 1	2	3	4	5	6	7	Rauchkammer.	Somme.	MERCURE TOTAL CONDENSÉ. Numéros des chambres. 1	2	3	4	5	6	7	Rauchkammer.	Somme.
jours.	1	530	196	119	95	29	13	18	»	1000	615	337	32	10	3	1	2	»	1000
8	2	126	75	234	383	148	34	»	»	1000	319	464	151	45	17	4	»	»	1000
8	3	44	119	305	313	188	13	18	»	1000	14	200	560	159	58	4	5	»	1000
7	4	34	267	237	264	132	60	6	»	1000	21	298	475	154	34	16	2	»	1000
7	5	103	132	323	223	143	76	»	»	1000	21	130	638	144	52	15	»	»	1000
7	6	22	75	129	189	304	245	36	»	1000	6	129	524	160	110	71	10	»	1000
8	7	80	164	421	138	135	29	25	»	1000	21	294	542	112	26	3	2	»	1000
7	8	46	291	489	89	51	24	10	»	1000	20	284	509	142	38	5	2	»	1000
10	9	65	208	200	226	171	88	42	»	1000	171	351	311	113	41	9	4	»	1000
8	10	55	204	301	136	216	63	25	»	1000	162	367	323	100	41	5	2	»	1000
7	11	110	218	233	228	109	70	32	»	1000	71	356	384	141	36	8	4	»	1000
7	12	135	50	30	447	206	130	2	»	1000	21	55	558	313	32	21	»	»	1000
7	13	110	126	313	195	169	87	»	»	1000	34	296	474	141	45	10	»	»	1000
7	14	82	90	349	186	199	94	»	»	1000	»	51	565	240	122	13	»	»	1000
7	15	»	135	273	179	167	246	»	»	1000	»	40	450	334	107	69	»	»	1000
7	16	»	63	213	160	346	218	»	»	1000	»	20	293	193	365	129	»	»	1000
7	17	»	101	193	219	306	181	»	»	1000	»	34	370	216	279	101	»	»	1000
7	18	»	88	389	144	289	90	»	»	1000	»	51	677	223	37	12	»	»	1000
7	19	»	182	213	65	331	209	»	»	1000	»	60	453	243	178	66	»	»	1000
7	20	»	115	172	154	324	235	»	»	1000	»	51	455	229	184	81	»	»	1000
7	21	»	86	165	136	232	381	»	»	1000	»	32	424	246	132	166	»	»	1000
8	22	»	41	217	141	408	193	»	»	10 0	»	29	288	255	320	108	»	»	1000
7	23	»	46	158	146	650	»	»	»	1000	»	38	577	177	213	»	»	»	1000
7	24	»	316	684	»	»	»	»	»	1000	»	109	603	253	35	»	»	»	1000
7	25	24	58	451	137	303	»	»	»	1000	10	24	507	222	237	»	»	»	1000
7	26	613	63	216	348	373	»	»	»	1000	»	40	560	230	170	»	»	»	1000
7	27	»	719	804	145	572	»	»	»	1000	»	102	409	244	245	»	»	»	1000
7	28	98	115	229	168	203	162	25	»	1000	47	54	389	276	138	84	12	»	1000

Dès la seconde semaine de marche, les rôles commencent à changer et les vapeurs de mercure se condensent en quantité plus considérable dans la chambre n° 4. Les chambres les plus voisines du fourneau s'échauffent à cause de la haute température des vapeurs de mercure qui les traversent, et ne retiennent qu'une moindre quantité de ces vapeurs.

Enfin, dans la marche régulière du fourneau, c'est dans la troisième chambre que se condense la plus grande partie des vapeurs, qui ne se déposent plus du tout dans la première chambre. A partir de la troisième chambre, la quantité de suie déposée sur les parois et la quantité de mercure condensée vont en décroissant jusqu'à la dernière chambre, dans laquelle la condesation est assez faible.

Composition des suies.

La composition des suies dont les parois des chambres sont recouvertes est très-complexe. D'après M. Glowacky, elles contiennent jusqu'à 6 p. 100 de charbon en petits flocons excessivement légers. Ces suies sont très-grasses; elles contiennent une huile essentielle. On rencontre aussi dans ces dépôts une matière particulière nommée idrialine, étudiée par MM. Liebig, Dumas et Schrötter. Sa composition est : hydrogène, 5,16; carbone, 94,84. Suivant M. Liebig, sa formule chimique est $C^{11}H^{14}$; suivant M. Schrötter, elle serait différente. Cette matière se rencontre dans les suies en petits cristaux parfaitement visibles à l'œil nu; ils s'enflamment au contact d'une lampe et ils continuent à brûler avec une vive clarté.

Ces dépôts ne sont enlevés qu'à la fin de chaque année, afin de ne pas exposer trop souvent les ouvrières à l'action des vapeurs mercurielles. A la fin de chaque année les murs sont balayés, et on porte toutes les suies recueillies dans un endroit voisin du réservoir à mercure.

Elles sont placées sur une aire inclinée, formée de larges dalles juxtaposées. Un ouvrier remue ces poussières avec une pelle en bois; le mercure s'écoule dans le réservoir. Lorsque, sous l'action de ce traitement, les poussières ne donnent plus de mercure métallique, elles sont chargées dans les cassettes et repassées au fourneau Léopold.

Lorsque la distillation du mercure est terminée, il faut mettre le fourneau hors feu. On commence par ouvrir les portes du cendrier et de la chauffe, et quelque temps après celles des chambres de condensation. Ces portes restent ouvertes pendant trois jours; au bout de ce temps seulement, les compartiments B et C se sont assez refroidis pour qu'on puisse y pénétrer. Déchargement du fourneau Léopold.

Les ouvriers enlèvent les morceaux de calcaire, de conglomérat, de schistes qui renfermaient le cinabre, et les transportent sur des haldes voisines de l'usine. Ces matériaux sont employés très-utilement à Idria pour l'empierrement des routes.

En examinant ces haldes on remarque sur un grand nombre de ces morceaux de pierre des cristaux de gypse, précisément à la place où se trouvait le cinabre. Le soufre, sous l'action d'un excès d'oxygène et de la vapeur d'eau, se transforme en acide sulfurique et s'unit à la chaux pour constituer ces cristaux de gypse.

Une opération entière dans le fourneau Léopold dure sept jours : un jour pour le chargement et la mise en feu, trois jours pour la distillation complète du mercure, trois jours pour le refroidissement et le déchargement du fourneau. Durée d'une opération.

Le tableau n° 5 donne le détail des frais de traitement de 100 kilogrammes de minerai dans le fourneau Léopold : ces frais s'élèvent à $1^{f},30$. La teneur moyenne des minerais traités dans ce four est de 3,26 p. 100;

on en retire 2,36. Donc les frais, pour obtenir dans le fourneau Léopold 1 kilogramme de mercure, sont 0f,54.

TABLEAU N° 5. — *Travail dans le four Léopold. — Évaluation du prix du traitement de 100 kilogrammes de minerai.*

On a traité dans l'année 2.403.758 kilogrammes, tenant 88.597k,6 de mercure.

	Mercure métall.
	kil.
On a obtenu.	46.920,72
40.458 kilogrammes de suies et poussières, tenant. . .	17.212,72
	64.133,44

Le déchet total a été de 24.464 kilogrammes, environ 27 p. 100.

Le four est resté allumé 147 jours; dans cet intervalle il a été mis 21 fois en feu.

On traitait par jour, dans le four, 4.088 kilogrammes.

Consommation.

		fr.		Pour 100 kilog. fr
Bois. . . .	Pour les manipulations.	6.014,50	. . . .	0,2593
	Pour les gardiens et les bureaux.	»	. . . .	0,001
Cassettes.		452,82	. . . .	0,0184
Briques. .	Usine.	492,08	. . . .	0,0233
	Maçonneries diverses.	180,04	. . . .	0,0101
Chaux pour luter les portes des chambres de condensation.		94,28	. . . .	0,0043
Salaires des ouvriers.		555,82	. . . .	0,0221
Frais venant d'achat de papier, huile, graisse et autres objets qui n'ont pas été pris au magasin général.		131,71	. . . .	0,0052
Achat de minerai venant de recherches voisines du fourneau.		6.817,31	. . . .	0,2836
Transports divers.		103,61	. . . .	0,00535
Articles du magasin général.		167,80	. . . .	0,0069
Partie proportionnelle venant des dépenses faites pour augmentation de solde des ouvriers, etc.		»	. . . .	0,1229
Somme.		14.872,88	. . . .	0,7529
Partie proportionnelle des frais généraux. .		»	. . . .	0,5400
			Somme. . .	1,2929

Frais de traitement de 100 kilog. dans le fourneau Léopold, 1f,30.

Fours à flammes.

Fours à flammes (flamöfen).

Le fourneau Léopold présente l'inconvénient grave de ne pouvoir marcher d'une manière continue. On a remédié à cet inconvénient en employant les fours à

réverbère désignés à Idria sous le nom de fours à flammes (*flamöfen*).

Ces fours sont au nombre de huit; ils sont construits sur la rive droite de l'Idriza, en face des anciens fours. Les *fig.* 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, Pl. I, donnent la disposition de l'ensemble de ces fours et de quelques-unes de leurs parties.

Description des fours à flammes.

Je diviserai en trois parties la description de ce fourneau : 1° description du four proprement dit; 2° de l'appareil de condensation; 3° de la cheminée.

1° *Four proprement dit.* — Le four est un four à réverbère ordinaire avec quelques légères modifications. La grille est en B; le bois est chargé par une porte latérale. Au delà de la chauffe, et séparée d'elle par un petit mur, est une cavité A, dans laquelle les ouvriers jettent le minerai élaboré. Des portes latérales permettent d'enlever le minerai jeté dans cette cavité. La sole est plane et construite en briques réfractaires.

A la partie antérieure du fourneau est une hotte mise en communication avec une cheminée K. Cette hotte a été construite pour soustraire, pendant le travail, les ouvriers à l'action des vapeurs mercurielles; et la porte de travail, placée à la partie antérieure du four, est fermée par deux battants en tôle. Un prisme triangulaire est placé à la partie inférieure de cette porte, afin de permettre aux ouvriers de manœuvrer les ringards plus facilement.

Le chargement des fours se fait par une trémie placée à la partie supérieure de chaque four. Pendant le travail elle reste fermée; lorsqu'on veut faire une charge, on remplit cette trémie, et à un signal donné, l'ouvrier qui est sur le sol de l'usine ouvre le registre qui ferme la trémie au moyen d'un levier qu'il manœuvre par l'intermédiaire d'une longue perche. Les huit fours à

flammes sont identiques; un d'eux a été modifié pour servir à certaines expériences dont je parlerai bientôt.

Appareil de condensation.

L'appareil de condensation de chacun des fours à flammes se compose de trois tuyaux en fonte et de quatre chambres. La Pl. I montre la disposition de cet appareil. Une roue hydraulique permet d'élever l'eau de l'Idriza dans un réservoir, d'où elle s'écoule dans les canaux MM pour tomber par de petits robinets sur les tuyaux de condensation. Les chambres de condensation sont construites identiquement comme dans le fourneau Léopold.

Cheminée.

La *fig.* 5, Pl. I, représente la coupe des cheminées de deux fours accolés. Le tuyau supérieur, partant de la dernière chambre de condensation, se rend dans le compartiment N de la cheminée. Les vapeurs qui arrivent dans ce compartiment s'élèvent par P et passent dans le compartiment Q; de ce dernier elles passent dans le compartiment R, d'où elles s'échappent dans l'atmosphère. La cheminée est recouverte de deux plans inclinés en bois, sur lesquels se dépose une quantité assez considérable de suies.

Travail dans les fours à flammes.

Les huit fours sont construits à peu de distance les uns des autres; ils sont renfermés dans le même atelier, qui est placé sous la surveillance d'un maître. Les ouvriers travaillent à ces fours par poste de 8 heures; le personnel est le suivant:

24 chefs de fourneau à 20 kreuzers (0f,80);
24 chauffeurs à 18 kreuzers (0f,72);
6 chargeurs;
8 ouvriers transportant le minerai.

Le minerai est amené sur la partie supérieure de chaque four; c'est de là que les chargeurs le prennent pour en remplir les trémies. Ce minerai est le grubenklein, le waschgänge, les schlamms venant de la pré-

paration mécanique, et des poussières venant des chambres des fours à flammes, du nettoyage des cheminées.

Lorsque l'on veut faire une nouvelle charge, le chef du fourneau ouvre les deux battants de la porte et prend un long ringard en fer, ayant un manche en bois de et 4^{m},65, présentant une partie recourbée d'une assez grande surface. L'aide saisit ce ringard avec le chef, et ils commencent à jeter dans la cavité B les minerais les plus rapprochés de la chauffe; ils prennent tous ces minerais sur une étendue de 4 pieds (1^{m},21); ils retournent alors les quatre pieds suivants, et les ramènent à la place qu'occupaient ceux qui viennent d'être jetés dans la cavité B; ils retournent de même la couche de minerai située tout à fait à l'extrémité du four et la ramènent au milieu.

Ce travail fini, le chargeur remplit la trémie et le chef du fourneau soulève le registre; la charge tombe à l'extrémité du fourneau. On remplit de nouveau la trémie jusqu'à ce que la quantité de minerai chargée occupe sur une épaisseur convenable une longueur de 1^{m},21; on ferme alors la porte; on lute exactement les joints, et trois heures après on recommence le même travail.

Les matières jetées dans B retiennent encore une certaine quantité de mercure, et la distillation du métal continue après que les minerais ont été jetés dans B.

Des canaux ont été pratiqués dans la partie supérieure du fourneau, afin de laisser l'air circuler et dessécher les maçonneries. Pendant l'opération on voit suinter quelques gouttelettes de mercure qui viennent se réunir dans les chapelles disposées aux extrémités de ces canaux. Telle est la tension des vapeurs de mercure dans ce fourneau, que dans la démolition de l'un

d'eux on a trouvé, à $1^{m},55$ au-dessous de la sole, des pierres imprégnées de mercure.

Appareil de condensation. Le tableau n° 6 permet de suivre la marche de la condensation dans les tuyaux en fonte et les chambres. Ce tableau montre que, dans l'espace contigu au foyer duquel partent les deux tuyaux inférieurs de condensation, la quantité de mercure condensée est très-faible; qu'elle va du reste en diminuant; qu'elle est quelquefois nulle.

Les tuyaux inférieurs donnent la plus grande quantité de mercure condensé; les chambres en donnent une quantité beaucoup moindre.

L'action du tuyau supérieur sur la condensation est aussi plus grande que celle de chacune des chambres qui le précèdent.

Enfin, dans la cheminée, la quantité de mercure obtenue est encore assez grande, mais elle est mélangée avec une quantité considérable de suies.

Les dernières colonnes du tableau indiquent quelle est la proportion de suies déposées sur les plans inclinés en bois recouvrant la cheminée; quelle est la quantité de mercure qui s'écoule par les joints des tuyaux, ainsi que celle qui est contenue dans les poussières qui se déposent sur les charpentes et sur le sol de l'usine.

TABLEAU N° 6. — *Marche de la condensation dans les fours à flammes.*

Nos des fourneaux.	Mise en feu.	1re chapelle.	1re chambre.	Les deux tuyaux inférieurs.	Les deux compartiments de la chambre où aboutissent les tuyaux. 1	2	2e chapelle.	Les deux compartiments de la chambre supérieure. 1	2	Tuyau supérieur.	3e chapelle.	4e chapelle.	Les trois compartiments de la cheminée. 1	2	3	Plans inclinés placés au-dessus de la cheminée.	Ce qui tombe à travers les joints des tuyaux.	Ce qui s'écoule par les canaux rainés dans la maçonnerie pour le sécher.	Ce qui provient du nettoyage des ateliers, charpentes.	SOMME.
				centners.	centners.	centners.	centners.	centn.	centn.	centn.			centn.	centn.	centn.	centn.	centn.	centners	centn.	centners.
1	1	»	»	125,925	4,317	10,11	0,5675	3,2550	1,367	1,465	»	»	0,637	0,2525	0,247	0,04	0,05	»	3,3575	151,587
	2	3,39	»	80,503/4	3,268¾	4,093/4	60,31	1,2925	0,9125	2,7825	»	»	0,2375	0,21	0,2425	0,025	0,245	»	0,325	159,675
		3,39	»	206,2325	9,585	14,2075	60,8775	4,5475	2,31	4,2475	»	»	0,87	0,4625	0,49	0,065	0,295	»	3,6825	311,2675
2	1	»	»	130,98	6,07	9,1625	3,38	3,8825	3,18	3,5725	»	»	0,33	0,1725	0,2625	0,0375	0,6125	»	4,1560	165,6050
	2	2,66	»	65,3275	5,03	1,7725	55,20	1,4050	0,9625	3,9375	»	»	0,1625	0,2375	0,1925	0,0175	0,6825	»	0,2575	137,8425
		2,66	»	196,3075	11,10	10,9350	58,58	5,2875	4,1425	7,5125	»	»	0,4925	0,4125	0,4575	0,0550	1,2975	»	4,4075	303,6475
3	1	»	»	121,0450	5,9250	4,9775	0,11	4,11	2,84	2,5375	»	»	0,0575	0,0975	0,63	0,0525	0,1025	»	»	141,7050
	2	»	»	102,41	7,6175	6,8025	81,8025	2,5025	0,9925	3,7575	»	»	0,0225	0,0475	0,0175	0,0125	1,2850	»	0,18	207,4850
		»	»	223,4550	13,5725	11,78	81,9150	6,6125	3,8325	6,0150	»	»	0,08	0,1475	0,1475	0,0675	1,3875	»	0,18	349,19
4	1	»	»	112,6025	6,675	3,9375	»	2,9650	1,8925	1,6525	»	»	,4575	0,3875	0,40	0,04	1,45	»	»	132,46
	2	»	»	102,425	6,12	6,3975	82,2450	3,1875	2,8675	5,3755	»	»	0,3250	0,13	0,0275	0,03	1,67	»	0,2125	210,7225
		»	»	215,0275	12,7950	10,335	82,2450	6,1525	4,76	7,03	»	»	0,49	0,5175	0,4275	0,07	3,12	»	0,2175	343,1575

Nature des dépôts qui se forment dans l'appareil de condensation.

A la fin de la campagne, qui dure six mois, on nettoie les tuyaux de condensation; les chambres ne sont balayées qu'une fois par an, comme celles du fourneau Léopold. Les tuyaux sont remplis de poussières agglomérées, et à la partie la plus voisine du four il se dépose une couche de poussière de $0^m,30$ de hauteur. Le bois (mélange de 2/3 hêtre et 1/3 bois léger) est employé en nature, et donne, sous l'action de la chaleur, une quantité considérable de vapeur d'eau. Il en est de même des minerais qui proviennent de la préparation mécanique. Cette vapeur traversant les tuyaux de fonte sur lesquels tombe un courant continu d'eau froide, se condense et coule vers la partie inférieure du tuyau, où elle agglomère les dépôts qui s'y sont formés. Ce dépôt contient de 40 à 50 p. 100 de mercure, peu de charbon, et beaucoup de poussières provenant des schlamms; ces dépôts sont enlevés deux fois par an. Pour pénétrer dans les tuyaux, les ouvriers reçoivent des bottes, des casques et des habits spéciaux; une fois leur travail achevé, ils prennent un bain.

Stubofen.

Les dépôts des chambres de condensation sont de la même nature que ceux du fourneau Léopold. Toutes les poussières provenant des fours à flammes sont placées dans des cornues en fonte, disposées dans un four nommé Stubofen et représenté Pl. II, *fig.* 1, 2, 3, 4. La chauffe est semblable à celle qui est décrite plus loin, à propos du Pultofen : l'appareil de condensation destiné à retenir le mercure se compose d'une série de tuyaux en fonte, placés dans des réservoirs remplis d'eau, dont les *fig.* 1, 2, 3, 4, représentent parfaitement la disposition.

Frais de traitement de 100 kilogrammes de minerai dans les fours à flammes.

Le tableau n° 7 donne le détail des consommations et des dépenses pour sept des fours à flammes. Le huitième avait été ménagé pour faire des expériences. Ces frais s'élèvent à $0^f,98$. La teneur moyenne des

minerais traités dans ce fourneau est de 1k,55 de mercure pour 100 kilogrammes de minerai : le déchet est de 29 p. 100. On obtient donc de 100 kilogrammes 1k,10 de minerai. Le prix de fabrication de 1 kilogramme de mercure est donc de 0f,88.

TABLEAU N° 7.—*Travail dans les fours à flamme.—Frais de traitement de 100 kilogrammes de minerai.*

On a traité dans 7 des fours à flamme 14.228.241k,44, tenant 220.818k,27 de Mercure métall.

	kil.
On a obtenu	92.097,60
Suies, poussières, 85.322k,72, tenant	64.965,60
	157.063,20

Le déchet total est de 63.755k,07, c'est-à-dire 29 p. 100.

Les fourneaux sont restés allumés ensemble 1.109 jours.

Consommation.	fr.	Pour 100 kilog. fr.
Bois. Pour les manipulations	27.567,49	0,1758
Bois. Pour la chancellerie	»	0,0013
Articles de la fabrique de vases en terre, récipients, etc.	698,10	0,0048
Briques	32,00	0,0002
Chaux	61,65	0,0005
Salaires des ouvriers	13.308,20	0,0935
Frais extraordinaires pour huile, graisse et autres objets non pris dans le magasin général	1.856,46	0,0114
Transports	4,86	0,0000
Magasin général	1.055,00	0,0742
Forge	925,64	0 0668
Somme	45.258,40	0,31809
Partie proportionnelle provenant de la somme de 21.406f,69 pour augmentation de salaires, récompenses, etc.	»	0,1229
Partie proportionnelle des frais généraux	»	0,54007
Somme		0,98097

Somme des frais de traitement de 100 kilog. de minerai, 0f,980.

Expériences faites sur les fours à flammes.

Des essais nombreux ont été faits pour arriver à perfectionner les fours à flammes. On a commencé par modifier la chauffe, et on en a construit une d'après les principes usités en Bavière, aux salines de Reichenhall. Le courant d'air destiné à alimenter la combustion, au lieu de pénétrer dans le foyer par la partie inférieure, arrive par la partie supérieure. Un mur sépare

le four de la chauffe et force les flammes à se recourber vers le bas avant de pénétrer sur la sole. Cette disposition facilite le mélange de l'air non brûlé avec les produits gazeux que donne la combustion du bois, et peut par cela même restituer, par la combustion de ces produits, la chaleur qu'ils avaient enlevée. Cette disposition désignée en Autriche sous le nom de *Pult. feuerung* a fait donner au four auquel on l'a appliqué à Idria le nom de *Pultofen.*

Par suite de cette modification, le travail est devenu plus rapide dans ce four ; mais la quantité de bois brûlé augmentait de telle façon que l'économie faite sur la main-d'œuvre se trouvait compensée par la consommation plus grande en bois.

On a tenté aussi de séparer dans le four les produits de la combustion de ceux de la distillation dans l'espoir de diminuer aussi la quantité de mercure entraînée par les gaz dans l'atmosphère.

On a disposé une plaque de fonte sous laquelle circulaient les gaz provenant de la combustion, et le minerai était chargé par dessus. La plaque de fonte s'est gondolée et a rendu impossible le travail avec le ringard. On a tenté alors de remplacer cette plaque de fonte par des plaques de porcelaine juxtaposées. Le mercure filtrait à travers les joints et donnait des pertes considérables.

On a fait aussi quelques expériences sur le diamètre le plus convenable à donner aux tuyaux de condensation. Il y a évidemment une limite supérieure que l'on ne peut dépasser. Si le diamètre des tuyaux est trop grand, l'eau froide, qui tombe constamment, ne refroidit qu'une certaine portion du courant gazeux, et il reste au centre du tuyau un cylindre de vapeurs qui conserve une température très-élevée et échauffe les différents milieux dans lesquels il passe successivement. De là une perte plus grande, puisque les vapeurs mer-

curielles se condensent moins facilement. On a essayé si un plus grand nombre de tuyaux d'un moindre diamètre ne serait pas plus favorable à la condensation. On a construit, à cet effet, pour le four sur lequel on expérimentait, 10 tuyaux de 15 pouces de diamètre ($0^m,38$). 6 de ces tuyaux conduisaient les vapeurs du fourneau à la chambre inférieure de condensation ; 4 partaient de la chambre supérieure et la mettaient en communication avec la cheminée. Dans ce cas, les résistances au passage des vapeurs dans les tuyaux augmentant, on était obligé de brûler du bois dans la première chambre de condensation, afin d'obtenir un tirage plus énergique.

Enfin, on a aussi essayé si, en plaçant les tuyaux de condensation sous l'eau, les vapeurs se condenseraient plus facilement. La condensation a mieux réussi en effet, mais si une fuite se déclarait dans les tuyaux, il fallait arrêter la marche du fourneau afin de visiter les tuyaux.

Tous ces essais n'ont conduit à aucune modification dans les fours à flamme tels que je les ai décrits.

Le tableau n° 8 donne les résultats de la condensation dans l'appareil du four pultofen, formé de 10 tuyaux de condensation de $0^m,37$ de diamètre.

TABLEAU N° 8. — *Marche de la condensation dans le Pultofen.*

	Mises en feu.	1re chambre.	1re chapelle.	6 tuyaux.	2e chambre.	2e chapelle.	4 tuyaux en sens inverse des précédents.			3e chambre.	3e chapelle.	Ce qui coule par les canaux laissés dans les fours pour les sécher.	Ce qui provient du nettoyage des ateliers.	Somme.
							2e chambre.	3e chapelle.	4 tuyaux.					
				liv.	livres.	liv.	livres.	l.	liv.	livres.	l.	livres.	livres.	livres.
Mercure métallique.	1	»	»	5.165	32,00	»	»	»	»	»	»	»	»	5.197,00
Résidus, suies et poussières.	1	257	»	3.628	968,00	156	526,00	»	178	2.028,00	»	»	5.066,00	12.837,00
Mercure contenu dans ces résidus d'usine.	1	16	»	2.467	330,25	50	264,25	»	73,75	6,75	»	»	245,25	3.453,25
Somme de mercure.	»	16	»	7.632	362,25	50	264,25	»	73,75	6,75	»	»	245,25	8.650,25

Le tableau n° 9 donne la production du fourneau pendant les expériences, les dépenses en bois, main-d'œuvre, etc.... Le prix de traitement de 100 kilogrammes de minerai est de $0^{f},98$ comme dans les fours à flamme. Les dépenses relatives aux différents changements qu'on lui a fait subir étant reportées à l'article des frais généraux concernant tous les fourneaux ; pour évaluer le prix du traitement de 100 kilogrammes de minerai, on ne compte que les frais spéciaux et la partie proportionnelle des frais généraux, partie qui entre dans l'évaluation des frais généraux relatifs à chaque fourneau.

TABLEAU N° 9.—*Four Pultofen.—Évaluation des frais de traitement de 100 kilogrammes de minerai.*

On a traité dans ce four $578.813^{k},50$, tenant $6.352^{k},08$ de mercure métall.

	kil.
On a obtenu.	1.791,80
Suies, poussières. $2.240^{k},35$, tenant.	1.286,88
	3.078,60

Le déchet total est de $3.273^{k},48$, c'est-à-dire 52 p. 100.

Frais spéciaux.

Le fourneau est resté allumé pendant 67 jours. On a consommé en tout :

			Pour 100 kilog.
	fr.		fr.
Bois. . . . Pour les manipulations.	1.226,82	. . . .	0,2120
Bois. . . . Pour la chancellerie.	»	. . . .	0,0013
Objets provenant de la fabrique de poterie, chapelles, etc..	26,94	. . . .	0,0046
Chaux.	2,20	. . . .	0,0003
Briques.	4,43	. . . .	0,0010
Salaires des ouvriers..	467,34	. . . .	0,0807
Frais extraordinaires pour huile, papier, graisse et autres objets qui n'ont pas été pris au magasin général..	75,83	. . . .	0,0132
Transports..	0,72	. . . .	0,0001
Magasin général et forge..	61,44	. . . .	0,0010
Somme.	1.867,69	. . . .	0,3142

Frais généraux.

Partie proportionnelle des dépenses provenant d'augmentation de salaires, de récompenses données aux ouvriers, etc. . . .	0.1229
Partie proportionnelle de la somme totale des frais généraux relatifs à tous les fourneaux.	0,5400
Somme. . .	0,9771

Les frais de traitement sont donc, pour 100 kilog., de $0^{f},98$.

Four Hähner.

Le traitement métallurgique du cinabre n'étant qu'un véritable grillage, on a songé à employer, pour traiter ce minerai, les fours de grillage employés en Styrie et en Carinthie pour le grillage des minerais de fer.

Les *fig.* 5 et 6, Pl. II, donnent la disposition de ce four, comme pour les autres fours : je diviserai en trois parties la description du hähnerofen :

1° Four proprement dit; 2° appareil de condensation ; 3° cheminée.

1° Four proprement dit ; le four est circulaire, la chemise intérieure est en briques réfractaires, l'appareil extérieur est en briques ordinaires. Dans ce massif extérieur sont des canaux donnant passage à la vapeur d'eau qui se dégage au moment de la mise en feu du fourneau. La grille est formée de forts barrreaux de fer laissant entre eux un intervalle de 0m,06. Ces barreaux sont mobiles, et s'enlèvent quand on veut faire tomber une partie de la charge. Un chemin de fer est disposé en dessous de cette grille afin de permettre à des wagons de s'approcher pour recueillir les matières qui tombent du four. Au-dessus du four est un plancher en tôle formé de feuilles réunies par des boulons. Ce plancher est traversé par une trémie que l'on peut charger au moyen d'une main mobile autour d'un axe. Cette main, au moment où elle rencontre la trémie, qui est inclinée, a exactement la même inclinaison que celle-ci, et la charge que contenait la main tombe dans la trémie : l'oüvrier ouvre alors le registre qui ferme la trémie, et la charge tombe dans le four.

Appareil de condensation.

L'appareil de condensation se compose de quatre chambres construites de la même manière que celles du fourneau Léopold. La partie supérieure de chaque chambre est formée par des feuilles de tôle assemblées à l'aide de boulons, comme celles qui recouvrent le four.

Sur ce plancher, on peut faire arriver de l'eau qui séjourne pendant tout le temps de l'opération. Un registre *r* établit la communication entre l'appareil de condensation et le four.

Cheminée. La coupe de la cheminée est représentée dans la *fig.* 5, Pl. II. Elle est formée de trois chambres superposées. Chacune de ces chambres a une porte par laquelle l'ouvrier pénètre dans l'intérieur de la cheminée, lorsque le nettoyage des chambres doit avoir lieu.

Conduite du four Hähner. Le personnel attaché au four Hähner se compose de 3 chargeurs, se succédant par poste, de 8 heures. Ils sont payés 20 kreuzers (0f,80). Le déchargement se fait par 3 ouvriers se remplaçant aussi, par poste de 8 heures; ils sont payés 18 kreuzer par poste (0f,72).

Mise en feu. Lorsque le four est neuf, ou que la chemise intérieure vient d'être reconstruite, la mise en feu exige certaines précautions.

On commence par mettre sur les barreaux de la grille un certain nombre de briques afin de diminuer l'espace par lequel l'air peut pénétrer dans le fourneau. Dans les intervalles qui restent entre les briques, on met des morceaux de bois fendu. Une fois ce lit terminé, on jette par-dessus une certaine quantité de menu bois, et par-dessus ce bois du minerai pauvre (le minerai riche donnerait au commencement de l'opération, où le tirage est nul, des vapeurs mercurielles qui incommoderaient les ouvriers). Par-dessus ce minerai pauvre, on jette du charbon, par-dessus le charbon, du minerai, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le niveau soit horizontal dans le four. A ce moment, on met le feu aux morceaux de bois placés entre les briques et on laisse la chaleur monter lentement, afin d'éviter un dégagement trop rapide de la vapeur d'eau. Au bout du second

jour, le feu commence à paraître à la surface de la charge, on ajoute alors une nouvelle charge de minerai et une charge de charbon, etc... On casse alors les briques afin de donner à l'air un libre passage à travers la grille.

On continue tous les cinq quarts d'heure à jeter dans le four une charge de charbon et une charge de minerai. On a soin, avant de verser chaque charge dans le four, de retirer de la partie inférieure une quantité de minerai grillé égale à la charge que l'on va ajouter. Les wagons ont une capacité calculée à cet effet.

Marche de la condensation dans le fourneau Hähner.

Les matières qui se déposent dans les chambres de condensation du fourneau Hähner sont, comme dans celles du fourneau Léopold et des fours à flamme, du mercure métallique, des suies, du charbon. En appelant *a* la quantité de mercure condensée à l'état libre, et *b* la quantité de mercure contenue dans les suies, on trouve que l'effet de chacune des quatre chambres peut être représentée par les nombres suivants :

	p. 100	p. 100
1re chambre la plus voisine du fourneau.	36 a	42 $(a+b)$
2e chambre.	45 a	40 $(a+b)$
3e chambre.	17 a	16 $(a+b)$
4e chambre.	2	2
	100	100

Le tableau n° 10 donne le détail du travail et de la production du fourneau Hähner. La somme de tous les frais tant spéciaux que généraux, s'élève pour le traitement de 100 kilogrammes de minerai à 0f,96. La teneur des minerais traités dans ce fourneau est, d'après les essais, de 3,11 p. 100; le déchet est de 1,21.

Tableau N° 10. — *Fourneau Hähner. — Évaluation du prix de traitement de 100 kilogrammes de minerai.*

On a chargé dans ce jour 200.792k.46 tenant 6.246 kilogrammes de mercure métallique.

	Mercure métall.
	kil.
On a obtenu en mercure métallique.	2.367,68
En suies, poussières, etc., 2.475,60 tenant.	1.431,92
Le déchet total est donc 2.446k,40, c'est-à-dire 39 p. 100.	3.799,60

Frais spéciaux.

Le fourneau est resté allumé 32 jours; on a consommé en tout:

		Pour 100 kilog.
	fr.	fr.
Bois. . { Pour l'usine.	15,83	0,0078
Bois. . { Pour les gardiens, etc.	»	0,0013
Charbon.	241,24	0,1200
Salaires des ouvriers.	300 82	0,1498
Frais extraordinaires.	12,20	0,0052
Forge.	6,72	0,0033
Magasin général.	24,08	0,0119
Somme.	600,89	0,2993
Partie proportionnelle des frais provenant d'augmentations de salaires, de récompenses accordées aux ouvriers.	»	0,1229

Frais généraux.

Partie proportionnelle des frais généraux calculés pour tous les fourneaux.	»	0,5400
	Somme. . .	0,9622
		0,9623

Les frais de traitement pour 100 kilogrammes de minerai dans le fourneau Hähner s'élèvent donc à 0f,96.

On retire donc 1k,90 de mercure de 100 kilogrammes de minerai. Donc les frais nécessaires pour obtenir 1 kilogramme de mercure montent à 0f,50. Avec des minerais plus pauvres, les frais de traitement s'élèvent considérablement, car la quantité de charbon nécessaire devient beaucoup plus grande.

Comparaison des trois genres de fourneaux.

En calculant pour chacun des fourneaux les frais de traitement de 100 kil. de minerai, nous avons trouvé :

	fr.
Pour le fourneau Léopold. . .	1,30
Pour les fours à flamme. . . .	0,98
Pour le four Hähner.	0,96

Sous le rapport des frais de traitement, le fourneau

Hähner est donc supérieur. A cet avantage, il en joint encore d'autres sur le fourneau Léopold : il marche d'une manière continue ; sa conduite, sa construction sont très-simples. Les voûtes en briques construites dans le fourneau Léopold, s'écroulent souvent sous le poids des minerais accumulés. De plus, le fourneau Hähner n'exige que deux hommes à chaque poste, et ne nécessite pas, tous les 8 jours, comme le fourneau Léopold, le déplacement de 120 mineurs que l'on paye, à la mine, comme si leur journée était complète, et qui reçoivent en outre un salaire pour ce surcroît de travail.

Le fourneau Léopold se prête au traitement des suies et des poussières, qui ne pourraient être traitées dans le fourneau Hähner ; mais rien n'empêcherait de traiter ces poussières dans un four semblable à celui qui sert pour les poussières riches des fours à flamme (Stubofen), et les deux fours remplaceraient avantageusement le fourneau Léopold.

Si le four Hähner peut se substituer avec avantage au fourneau Léopold, il n'en est pas de même pour les fours à flammes qu'il ne pourrait remplacer en aucune façon. Le fourneau Hähner donne des résultats d'autant meilleurs, que la teneur des minerais traités est plus élevée. Toutes les matières, traitées dans les fours à flammes, suies, poussières, schlamms de la préparation mécanique, grubenklein, ont une teneur moyenne de 1,55 p. 100. Des minerais de cette teneur traités dans le fourneau Hähner, donneraient lieu à une dépense plus élevée que dans les fours à flamme. Du reste, la nature même de ces minerais s'oppose à ce qu'ils puissent être grillés dans le fourneau Hähner. Ils sont en morceaux très-petits, les plus gros ayant au maximum un volume d'un cube 15 lignes de côté. Ces mine-

rais chargés dans le fourneau Hähner empêcheraient l'air de circuler librement, condition nécessaire pour une bonne marche du fourneau.

Ainsi, en résumé, le fourneau Hähner remplacerait avantageusement le fourneau Léopold pour le traitement des minerais tenant 3 ou 4 p. 100; mais il ne pourrait être substitué aux fours à flammes qui lui seront toujours supérieurs sous le rapport de la marche et des frais de traitement dans le cas de minerais très-menus.

Dans le tableau n° 11 se trouvent résumés le travail dans tous les fours pendant l'année 1852, et les dépenses auxquelles a donné lieu ce travail :

TABLEAU N° 11. — *Travail de tous les fourneaux en 1852.*

On a produit :

	kil.		kil.
Charge en minerai.	17.411.210,42	Mercure.	140.263,16
Teneur en mercure.	322.060,36	Suies, etc. . . .	131,192,92

Les suies tenaient 84.403 kilogrammes de mercure.

Le déchet total est donc de 97.394^k,20, c'est-à-dire 40 p. 100 du mercure environ.

Frais spéciaux.

	fr.	Pour 100 kil. fr.
Bois. . . . Pour les manipulations.	34.825,54	0,1987
Bois. . . . Pour les bureaux et les gardiens. .	396.09	0,0132
Cassettes destinées surtout au fourneau Léopold.	1.157,86	0,0067
Briques. . Pour l'usine.	515,91	0,0029
Briques. . Pour des bâtisses.	357,64	0,0020
Chaux.	222,89	0,0012
Charbon.	241,24	0,0013
Dépenses faites pour réparations des divers fours.	21.406,69	0,1229
Augmentation de solde de certains ouvriers, salaire des ouvriers.	14.607,18	0,0838
Frais extraordinaires pour achat de papier, graisse, huile et autres objets qui n'ont pas été pris au magasin général.	4.429,54	0,0256
Achat de minerai provenant de recherches voisines du fourneau Léopold.	6.817,21	0,0391
Transports.	109,20	0,0006
Magasin général.	1.308,36	0,0075
Forge.	932,36	0,0043
Somme des frais spéciaux.	87.249,59	0,5011

Suite du tableau n° 11.

Frais généraux.		
Pensions des femmes d'ouvriers, retraite. . . .	4.792,31	0,1512
Bâtisses.	34.567,35	0,1985
Secours.	48,00	0,0002
Perte sur la nourriture des ouvriers.	8.422,97	0,0403
Solde des employés.	46.199,88	0,2683
Somme des frais généraux. . . .	94.030,51	0,5400
	fr.	
Frais spéciaux.	87.249,59	
Frais généraux.	94.030,51	
Somme totale.	181.280,10	
Pour 100 kilogrammes de minerai.	1f,0379	

Une partie du mercure produit dans l'usine, qui n'est pas transformée en cinabre artificiel, est emballée, soit dans des barils, soit dans des boîtes en fonte ou en tôle. Il est mis en magasin dans le château qui domine la ville, où sont établis les bureaux de l'administration, et la direction générale de la mine et de l'usine.

Détail des frais d'emballage du mercure.

Les frais auxquels donne lieu cet emballage peuvent s'estimer ainsi qu'il suit.

Quantité totale de mercure emballé en 1852. 78.396k,64	fr.
Salaires des ouvriers emballeurs.	757,92
Articles de la forge.	7,24
Usure du matériel.	5,60
Frais de transport, d'administration et réparations de magasin.	1.548,44
Barils de 30 livres (16k,80).	8.890,56
Boîtes en fonte tenant 100 livres (56 kilogrammes). .	732,83
Boîtes en fer-blanc à 61 livres (34k,16).	1.896,24
	13.838,83

Comme, dans le transport du mercure, il s'en perd toujours un peu, on met dans chaque baril en bois 1 lod (0k,017) en plus par 10 liv. (5k,6); et dans chaque baril en fer, 1 lod (0k,017) par 20 liv. (11k,20). Cette augmentation a produit 233k,16 de mercure donné en trop. Le centner de mercure valant 211fl,48,

on a dépensé en plus 2 119f,32. Donc les frais d'emballage montent pour les 78 396k,64 à 15 958f,15. Ce qui donne 20f,35 pour prix de l'emballage de 100 kil. de mercure.

En examinant le tableau n° 4, on trouve que le prix moyen de traitement de 100 kilogrammes de minerai est de 1,03f,79, le déchet étant de 30 p. 100 et la teneur 1,85. On obtient 1k,30 de mercure pour 1f,03; donc 100 kilogrammes pour 79f,23. Donc le mercure emballé coûte à l'usine 99f,58 les 100 kilogrammes.

En établissant les comptes de la mine, on trouve que 100 kilogrammes de mercure coûtent à la mine 138 francs; il y a 30 p. 100 de déchet; donc 143 kilogrammes de mercure, après le traitement, donneront 100 kilogrammes de mercure; ils coûtent à la mine 197f,34 : par conséquent, les 100 kilogrammes de mercure prêts à être expédiés coûtent à Idria 296f,92, et sont vendus 889f,82.

QUATRIÈME PARTIE.

La fabrication du vermillon comprend trois opérations : 1° préparation de l'éthiops, 2° transformation de l'éthiops en cinabre, 3° transformation du cinabre en vermillon.

1° *Fabrication de l'éthiops.* — On a pour but, dans cette première opération, d'obtenir un mélange intime de soufre et de mercure. Le soufre arrive en canons à l'usine; il est bocardé avant d'être mélangé avec le mercure. Le soufre ne doit pas être bocardé très-fin, car le mélange ne se fait dans ces conditions qu'avec de grandes difficultés. Il doit être en petits grains de la grosseur d'une tête d'épingle.

Le mercure destiné à être mélangé avec le soufre est déposé dans des bassins en fonte établis dans de la maçonnerie à proximité de l'appareil dans lequel le mélange doit être fait. Les ouvriers viennent le puiser dans ces bassins, à l'aide de petits vases en terre dont la capacité répond à un poids déterminé de soufre.

Le mélange de soufre et de mercure est opéré dans de petits barils recevant un mouvement de rotation alternatif. La quantité de mercure dans chaque baril est de 23^{k},47 ; on met toujours un excès de soufre, afin que dans la distillation, lors de la transformation en cinabre, il n'y ait pas de mercure libre, et que toute la charge de mercure se combine avec le soufre. Le poids de soufre, dans chaque baril, est ordinairement 4^{k},530.

Durée d'une opération.

Il est impossible de fixer d'une manière invariable le temps que doit durer une opération. Ce temps dépend de la température de l'enceinte dans laquelle se trouvent les barils, et de l'intervalle qui sépare deux opérations.

Voici les résultats auxquels ont conduit des observations continuées depuis le 22 octobre 1845 jusqu'au 4 février 1846 :

	TEMPÉRATURE de l'enceinte.	TEMPÉRATURE de l'éthiops.	Différence.	Durée de la rotation des barils.	Nombre de tours de la roue par minute.	Nombre des barils.	Intervalle entre l'opération du matin et celle du soir.
	OPÉRATION DU MATIN.						
	deg. R.	deg. R.	deg. R.	heures.			heures.
Maximum. . . .	11	31	20	4,15	17	»	»
Minimum. . . .	»	18	18	2,15	14	»	»
Moyenne. . . .	6	25.5	19,5	2,50	25	60	»
	OPÉRATION DE L'APRÈS-MIDI.						
Maximum. . . .	11	32	21	4	17	»	»
Minimum. . . .	2	20	18	2	15	»	»
Moyenne. . . .	6,4	26,4	19,5	2,32	15	60	4,45 1,46

Le mélange du soufre et du mercure paraît s'opérer d'autant plus lentement, que la différence entre la température de l'éthiops et celle de l'enceinte est plus grande. Mais il s'opère plus rapidement l'après-midi que le matin.

Le produit de cette première opération est un mélange de mercure et de soufre qui est loin d'être homogène. On y distingue certaines parcelles de soufre, et en écrasant l'éthiops, certaines parties donnent la nuance rouge qui caractérise le cinabre, d'autres donnent du mercure métallique. Il y a donc déjà un commencement de combinaison.

Résultats pour l'année 1852.

La quantité totale d'éthiops préparé en 1852 a été de (72 858^{k},800) 1 301 centners; on a employé 1 092^{crs},88 (61 201^{k},28) de mercure; par les joints des barils il s'en est perdu 151^{k},16. La production totale en mercure avait été de 2 513^{crs}98 ; 1 399^{k},94 ont été emballés, 4^{k},16 donnés en surplus dans l'emballage, 1 092^{k},88 ont été transformés en vermillon; il y a donc eu une perte de 17 centners dans tous les transports et les manipulations diverses auxquelles le mercure a été soumis.

2° *Seconde opération.* — Cette seconde opération a pour objet la transformation de l'éthiops en cinabre. On y arrive par la sublimation de l'éthiops. La sublimation se fait dans des cornues en fonte : quatre fours servent à cette opération et contiennent chacun six cornues. Les cornues sont surmontées d'un dôme en terre qui communique avec une allonge engagée dans un récipient.

Conduite de l'opération.

Lorsque chaque cornue a reçu la charge convenable, l'ouvrier dispose sur cette cornue le dôme qu'il lute avec soin ; puis il élève lentement la température jusqu'à 126° Réaumur. Il examine de temps en temps si les vapeurs de soufre apparaissent à l'extrémité du

dôme. A ce moment il dispose l'allonge et le récipient. De 126 à 380°, la sublimation continue à augmenter, et à 380°, elle marche avec une rapidité convenable. Pour s'assurer que toute la charge a été sublimée, l'ouvrier enlève un peu du lut qui unissait la cornue et le dôme, et examine si les flammes bleues, dues à la combustion de soufre, sortent toujours de la cornue; l'opération est terminée au moment où elles cessent de paraître. On arrête alors le feu et on laisse les cornues refroidir. L'opération est conduite par deux ouvriers, payés par poste 28 kreutzer (1f,12) et 24 kreutzer (0f,96).

M. Glowacky m'a communiqué les résultats de ses observations sur la durée de la sublimation. A Idria, l'opération est divisée en trois périodes : 1° abdampf-periode, depuis 12 jusqu'à 126° Réaumur; 2° stuck-periode, depuis 126 jusqu'à 380°; 3° sublimation-periode, à partir de 380°. Observation sur la durée de l'opération.

1° *Abdampf.*

	h.
Durée moyenne.	0,15
Durée maxima.	1,3
Durée minima.	0,3

2° *Stück.*

Durée moyenne.	2,24
Durée maxima.	3,40
Durée minima.	1,40

3° *Sublimation-periode.*

Durée moyenne.	4,9
Durée maxima.	5,30
Durée minima.	3,20

Durée totale de l'opération.

Durée moyenne.	6,48
Durée maxima.	8,37
Durée minima.	5,55

Les quantités de cinabre qui se déposent dans les différentes parties de l'appareil de condensation, sont

très-différentes. Sur 1000 parties de cinabre condensées on en trouve :

Dôme.			
Partie la plus voisine de la cornue.	Partie la plus voisine de l'allonge.	Allonges.	Récipient.
365	327	255	53

En moyenne, la quantité de cinabre condensé dans les deux parties du dôme est 692.

Évaluation des frais de préparation de 100 kilog. de cinabre artificiel.

Ces frais comprennent ceux qui sont relatifs à la préparation de l'éthiops ainsi que ceux qu'entraîne l'opération de la sublimation.

Préparation de l'éthiops.

En 1852, on a préparé 1.301,05 centners d'éthiops (72.858k,80).

	kil.
On a employé 1.109,88 centners de mercure.	61.201,28
2,73 centners ont été perdus par les joints des barils.	151,16
Il reste donc pour la quantité de mercure entrant dans l'éthiops.	61.050,14

210.77 centners de soufre (11.793k,12) à 3.569f,38.

Cinabre obtenu.

On a produit 1.271,14 centners de cinabre (71.183k,34).

Augmentation de poids du mercure employé, 180,99 centners ou, pour 100 kilogrammes, 16k,60.

Consommations.

	fr.
Bois, 443mc,10.	2.203,36
Cornues en fonte à 104f,16.	1.971,56
Dômes en terre à 0f,60.	768,80
Allonges à 0f,20.	156,20
Récipients à 0f,14.	188,55
Petits vases servant à charger l'éthiops dans les cornues à 0f,23.	17,71
Planches de diverses sortes, articles de menuiserie.	24,32
Redevance à payer à la chambre de commerce de Laybach.	18,77
Salaires des ouvriers. Pour la préparation de l'éthiops.	139,68
Salaires des ouvriers. Pour la sublimation.	575,86
Transports.	7,06
Direction des forêts.	159,39
Magasin général.	117,76
Forge.	222,00

Frais extraordinaires pour objets tels que huile, papier, etc., qui n'ont pas été pris au magasin général.	1.652,10
Le bois brûlé a donné une certaine quantité de cendres que la fabrique de cinabre est censée vendre à l'atelier de raffinage du vermillon ; la quantité de cendres produites est évaluée à.	36,48
Somme des frais spéciaux.	11.658,03

Frais généraux.

Frais des bureaux.	2.712,93
Solde des employés.	2.160,00
Pension des femmes des anciens ouvriers.	3.259,98
Retraites.	2.219,00
Perte sur la nourriture des ouvriers donnée par l'usine à un prix constant.	872,34
Secours, etc..	468,00
Somme des frais spéciaux et généraux. . .	23.350,28

Si on considère la fabrique de cinabre comme indépendante de l'usine à mercure, elle aura dû solder à celle-ci les 1109$^{\text{centn.}}$,88 qui ont été employés à la fabrication du cinabre. Par conséquent, pour obtenir le prix de revient des 71183$^{\text{k.}}$,24 de cinabre, il faut ajouter aux frais de fabrication et aux frais généraux, le prix des 1109$^{\text{centn.}}$,88 de mercure à 211$^{\text{fl.}}$,48 le centner, ce qui donne 564174$^{\text{f.}}$,20. Donc en somme :

	fr.
Les 71.183^{k},24 de cinabre reviennent à la fabrique à	564.174,20
Ce qui donne 825^{f},38 pour.	23.350,28
Le prix de fabrication des 100 k. de cinabre artificiel.	587.524,48

3° *Troisième opération.* — Cette troisième opération consiste en une série de broyages et de raffinages ayant pour but de rendre le vermillon de plus en plus fin et de plus en plus pur.

Ces opérations s'exécutent dans un atelier renfermant 6 moulins et de grandes cuves en bois pour le raffinage. Trois ouvriers sont occupés du broyage sous les meules, et reçoivent par poste, l'un 24 kreuzers

(0f,96), les deux autres 20 kreuzers (0f,80); 4 autres sont employés au raffinage, et sont payés, l'un 28 kreuzers (1f,12), les trois autres (0f,80).

Broyage. Le broyage s'effectue sous des meules dont la distance est variable suivant la grosseur que l'on veut donner au grain. Chaque paire de meules est mise en mouvement par une roue hydraulique établie sur le cours de l'Idriza. Le nombre de broyages auquel on soumet le vermillon dépend de la qualité que l'on veut préparer.

Pour le vermillon chinois, il faut 2 broyages; pour le dunkel rothe (rouge sombre), il en faut 4; et pour le hoch rothe (rouge superfin), il en faut 5.

Le cinabre broyé ne constitue pas encore le vermillon. Il faut enlever l'excès de soufre ajouté lors de la préparation de l'éthiops. A cet effet, on dépose dans un petit atelier, voisin de l'atelier de raffinage, des tonnes divisées en deux parties par une planche percée de trous. Sur cette planche on dispose un lit de paille, et par-dessus on étend les cendres provenant de la combustion de bois dans les différents foyers. On fait ensuite arriver de l'eau chaude sur ce filtre, et cette eau se charge des parties solubles des cendres. On recueille cette dissolution, et on la concentre dans de grands bassins en fonte jusqu'à 12 degrés de l'aréomètre de Baumé. On la verse ensuite sur le cinabre disposé dans les tonnes de raffinage.

Raffinage. Le cinabre, en vertu de sa densité, se rassemble au fond des tonnes, et permet de décanter facilement la dissolution surnageante qui entraîne le soufre à l'état de sulfite et d'hyposulfite alcalin. On jette ensuite de l'eau sur le cinabre, afin de le laver et de le débarrasser autant que possible des sels alcalins qu'il pourrait retenir. Le vermillon est ensuite séché sur des

plaques de tôle chauffées par les gaz des fours de sublimation, et porté de là à l'atelier d'emballage.

Tantôt il est emballé dans de petites boîtes tenant 25 livres, d'autres fois, surtout pour le vermillon chinois, on adopte un autre mode d'emballage.

On dispose du papier dans de petites boîtes rectangulaires, on y met le vermillon, et on ferme avec un double couvercle en bois soigneusement luté. Toutes ces petites boîtes sont ensuite disposées dans une grande boîte rectangulaire. Certaines de ces boîtes pèsent 50 livres (28 kilogrammes), d'autres 100 livres (56 kilogrammes).

On a préparé en 1852 65409^{k},68 de vermillon de diverses qualités. Frais de fabrication du vermillon en 1852.

On a employé 65527^{k},84 de cinabre.

Ce qui restait de cinabre a été vendu à l'état de cinabre en morceaux (stück-cinnober). Il y a donc eu un déchet de 123^{k},84, c'est-à-dire 0,18 p. 100.

Consommations.

		fr.
Bois, 338st,706		1.719,71
Cendres		671,28
Vases où on reçoit le cinabre au sortir des meules 46 à 10 kreuzers (0^{f},40)		18,40
Vases dans lesquels on porte le vermillon à sécher.		31,51
Redevance à la Chambre de commerce de Laybach.		15,39
Articles de menuiserie		111,79
Salaires	966 broyages	820,16
	833 raffinages	839,94
Frais extraordinaires provenant d'achats de graine, huile, papier, etc., qui n'ont pas été pris au magasin général		50,72
Transports au château		48,93
Direction des forêts		61,12
Magasin général		209,28
Forge		79,52
Somme des frais spéciaux		4.678,75

Frais généraux.

Retraites des ouvriers, secours	2.948,23
Pensions des veuves, frais imprévus	47,67
Perte sur la nourriture donnée aux ouvriers à un prix constant	1.716,69
L'atelier de raffinage étant considéré comme indépendant de la fabrique de cinabre, il aura dû solder à celle-ci le prix des 65.527^k,48 de cinabre employé, à raison de 8^f,25 le kilog., ce qui donne.	540.601,18
Somme totale des frais	550,092,52

Le prix de fabrication de 100 k. de vermillon s'élève donc à 856^f,35.

Frais d'emballage.

Ces frais s'élèvent pour 100 kilogrammes :

	fr.
Pour le cinabre en morceaux	14,76
Pour le vermillon	19,47
Pour le vermillon emballé dans de petites boîtes renfermées dans une boîte plus grande	46,50

Ainsi, à l'usine, le vermillon et le cinabre prêts à être expédiés reviennent les 100 kilog.

Le cinabre en morceaux	840,14
Le vermillon emballé dans les boîtes de 25 livres	875,82
Le vermillon emballé dans de petites boîtes renfermées dans une caisse	902,85

RECHERCHES

SUR L'INCRUSTATION DES CHAUDIÈRES A VAPEUR.

Par M. COUSTÉ, ancien élève de l'École polytechnique, employé supérieur du service des tabacs.

CHAPITRE PREMIER.

IMPORTANCE DE LA QUESTION.

§ 1.

La préservation des chaudières contre les incrustations que l'eau forme en se vaporisant, est une question qui préoccupe depuis longtemps les esprits familiarisés avec les besoins de l'industrie, et qui mérite d'attirer l'attention du gouvernement. Effets de l'incrustation.

La question, en effet, importante sous le rapport de l'économie de combustible, de la conservation des chaudières et de leur puissance, ne l'est pas moins au point de vue de la sécurité publique.

On sait que la surface de chauffe des chaudières, lorsqu'elle est couverte d'une croûte terreuse qui la soustrait au contact de l'eau, transmet difficilement la chaleur. De ce fait résultent divers inconvénients :

1° Perte de combustible; l'intensité du feu devant être augmentée, afin de produire la quantité de vapeur voulue, et, par conséquent, les gaz de la combustion s'échappant dans la cheminée avec une plus haute température; Perte de combustible.

2° Détérioration prompte de la chaudière, par l'oxydation des parois incrustées; Destruction des chaudières.

3° Lorsqu'il s'agit d'un navire, perte considérable Perte de tonnage utile.

dans le tonnage utile, par suite de l'augmentation d'approvisionnement de combustible ;

Chances d'explosion.

4° Création des seules chances d'explosion contre lesquelles ne puissent rien la prudence et les soins dans la conduite de la chaudière, et qui expose le navire à de grands dangers.

C'est donc au nom de graves intérêts que l'industrie et la navigation à vapeur réclament un moyen de prévenir l'incrustation des chaudières. Et s'il est vrai que, grâce à l'activité de l'intelligence humaine, un problème qui se présente avec un caractère vrai de grandeur ou d'utilité est bientôt résolu, on ne saurait trop faire pour signaler l'importance de celui dont il s'agit ici.

Point capital de la question.

Je ne me bornerai donc pas à la simple énonciation que je viens de faire des fâcheux effets de l'incrustation ; mais j'évaluerai, avec toute l'exactitude possible, celui de ces effets qui me paraît le plus saillant, et en même temps le plus important et le plus susceptible d'une estimation précise : je veux parler de la *perte de combustible.*

§ 2. — *Perte de calorique due à l'incrustation.*

Il n'a point été fait, à ma connaissance, d'expérience directe pour déterminer la perte de calorique due à l'incrustation. On n'a, sur l'estimation de cette perte, que des idées vagues et très-diverses. M. Grouvelle (*Guide du chauffeur*, page 108) estime cette perte de 8 à 10 p. 100. Dans une usine à blé à Bordeaux, on estimait à 15 p. 100 la perte de calorique due à l'incrustation. Des remarques faites par un constructeur du Havre sur la consommation dans les chaudières neuves et sur celle qui avait lieu dans ces mêmes chaudières après quelques jours de navigation, font ressortir cette perte à environ 40 p. 100. Un autre con-

structeur, M. Cavé, dans des essais faits dans un autre but, a remarqué qu'une chaudière neuve donnant 8 kilogrammes de vapeur pour 1 kilogramme de houille, donnait un rendement qui diminuait jusqu'à 4 kilogrammes à mesure qu'elle s'incrustait.

De ces divers renseignements, les deux derniers seuls sont concluants, parce qu'ils constatent la comparaison de l'état d'incrustation à celui d'une propreté complète. Ils annoncent des résultats concordants; ils sont d'ailleurs confirmés, comme nous allons le voir, par le calcul théorique. Nous pouvons donc les regarder comme l'expression de la vérité, et évaluer en conséquence à au moins 40 p. 100 la perte de combustible due à l'incrustation, dans les chaudières qui, soit par la nature des eaux qu'elles vaporisent, soit par défaut de nettoyages complets et assez fréquents, se couvrent de croûtes terreuses épaisses. La pratique indique une perte d'environ 40 o/o.

Calcul théorique de la perte de calorique due à l'incrustation. — Ne voulant avancer aucune assertion sans la justifier, je présenterai le calcul par lequel je suis arrivé à une évaluation approximative de la perte de calorique due à l'incrustation en général. Seulement, pour ne pas retarder la marche du lecteur vers le but essentiellement pratique de ce mémoire, et pour ne pas fatiguer son attention par les considérations ardues d'un problème physico-mathématique, je me bornerai à citer ici les résultats du calcul, et j'en donnerai les détails dans une note placée à la fin. J'agirai de même pour toutes les questions que j'ai dû traiter scientifiquement dans le cours de ce travail. Le calcul confirme le résultat ci-dessus.

Les résultats de ce calcul sont comme il suit (voir la note 1 à la fin du mémoire) :

1° La perte du calorique augmente rapidement avec l'épaisseur des croûtes.

2° En représentant cette perte par la différence qui existe entre la consommation de combustible dans une chaudière à un état moyen d'incrustation, et la consommation qui aurait lieu dans la même chaudière supposée sans incrustation, cette perte sera représentée, pour les chaudières de divers systèmes, par les nombres suivants, qu'on peut considérer comme des *minima* :

Chaudières de Watt à basse pression (1at.,25) à galeries ou à tombeaux	40 0/0	par rapport à la consommation actuelle.
Chaudières tubulaires à moyenne pression (3 at.)	50	
Chaudières cylindriques à haute pression (5 at.)	40	
Chaudières de locomotive en cuivre (5 at.)	40	

§ 3. — *Position de la question en ce qui concerne la navigation à vapeur.*

La perte, dans les chaudières navales, est d'au moins 40 0/0.

On voit, d'après ce qui précède, que la perte du combustible due à l'incrustation est, en moyenne, d'au moins 40 p. 100 pour les générateurs des machines navales, lesquels sont presque exclusivement dans le système de Watt avec carneaux à galerie. Par conséquent, la seule suppression de l'incrustation produirait une économie de 40 p. 100 dans la consommation actuelle du combustible.

L'incrustation rend impossible, pour les chaudières navales, l'emploi de la vapeur à pression élevée.

En outre, la suppression de l'incrustation doit produire indirectement un autre avantage considérable : c'est de rendre possible, dans la navigation maritime, l'emploi de la vapeur à moyenne pression, et de permettre de réaliser ainsi, par le bénéfice de la détente de la vapeur, une économie d'au moins 50 p. 100 sur la consommation qui aurait lieu dans une chaudière à basse pression, non incrustée.

En énonçant cette dernière assertion, je ne fais qu'anticiper sur les conclusions de ce mémoire : je prouve, en effet, plus loin, que l'emploi de la vapeur à pression élevée, dans la navigation maritime en gé-

néral, et surtout dans celle de long cours, sera pratiquement impossible tant qu'on n'aura pas un moyen d'éviter l'incrustation.

D'après cela, la portée de la question dont il s'agit ici peut être indiquée par une économie d'environ 66 p. 100.

Qu'on ajoute à cela les avantages résultant d'une plus grande durée des chaudières, d'un notable amoindrissement des frais de réparation et des chômages, d'une grande augmentation dans le tonnage utile des navires, de l'anéantissement de toutes chances d'explosion qui ne proviendraient pas de l'imprudence ou de l'incurie, et l'on aura une idée, encore amoindrie, de l'importance du problème de la préservation des chaudières contre l'incrustation.

La question étant ainsi définie, je vais exposer le travail que j'ai entrepris pour la résoudre.

CHAPITRE II.

FORMATION DES DÉPÔTS.

---

§ 1. — *Description des dépôts des chaudières navales.*

Pour suivre une voie sûre dans mes recherches, j'ai pensé qu'il fallait commencer par déterminer la nature des dépôts, puis reconnaître les circonstances essentielles de leur formation. A cet effet, j'ai visité les chaudières de plusieurs steamers.

Voici les faits que j'ai observés :

État des chaudières incrustées.

Tous les endroits de la chaudière baignés par l'eau sont couverts d'une croûte blanchâtre, à surface mamelonnée, dure comme du marbre, à cassure en partie amorphe et en partie cristalline. L'épaisseur de cette

croûte varie beaucoup : d'environ 2 millimètres sur la caisse du foyer, elle est de 10 à 15 millimètres sur les points de la surface de chauffe où la chaleur est peu intense. Au fond des chaudières, on trouve une quantité considérable d'écailles, tantôt minces et isolées, tantôt agglomérées et formant des concrétions quelquefois grosses comme des moellons.

Dépôts concrétionnés. Description.

Si l'on examine la cassure d'une croûte un peu épaisse, encore adhérente à la paroi, on remarque de petits filets jaunâtres, de consistance terreuse et moins dure, suivant lesquels la concrétion se clive facilement. La face de contact avec le métal est noircie par une couche d'oxyde; en partant de cette face, on trouve une série de couches amorphes, blanches, divisées par les filets jaunâtres dont je viens de parler; et, à la face opposée, il y a généralement une couche d'apparence cristalline.

Si l'on examine de même une des écailles un peu épaisses qu'on trouve détachées au fond des coursives, on voit qu'elle est souvent formée d'un noyau de couches amorphes, complétement enveloppé par une couche cristalline plus ou moins épaisse.

Composition. Le principe constitutif des dépôts concrétionnés des chaudières navales est le sulfate de chaux.

J'ai fait l'analyse chimique de plusieurs échantillons de croûte. En voici les résultats pour trois échantillons pris, l'un dans la chaudière du *Hambourg*, dans l'Océan, les autres dans deux chaudières tubulaires de steamers de la Méditerranée.

Composition des dépôts concrétionnés des chaudières navales.

ORIGINE des dépôts.	PRODUITS ÉLÉMENTAIRES.						COMPOSITION.				
	Acide sulfurique.	Acide carbonique.	Chaux.	Magnésie.	Fer et alumine.	Eau.	Sulfate de chaux.	S.-carbonate de magnésie.	Magnésie libre.	Fer et alumine.	Eau.
Carneau de la surface *indirecte* de la chaudière du *Hambourg* (croûte en partie cristalline)	50,00	1,00	35.20	7,20	»	6,60	85,20	2,25	5,95	»	6.60
Tube de chaudière tubulaire de la Méditerranée (croûte en grande partie amorphe)	50.01	1,04	34,93	8,96	0.41	4,65	84,94	2,34	7,66	0,41	4,65
Tube d'une autre chaudière de la Méditerranée. (croûte en grande partie amorphe)	47,61	1,42	33,29	12,62	0,50	4,56	80,90	3,19	10,85	0,50	4.56

Dépôts vaseux.

Outre les dépôts que je viens de décrire, on trouve dans la chaudière, au fond, entre les rivets, et sur les plans horizontaux de la surface de chauffe, un dépôt vaseux composé, en proportions très-variables, de sulfate de chaux, de magnésie libre, de sous-carbonate de magnésie, de traces de fer et d'alumine, de silice et de matières organiques.

Les dépôts, soit concrétionnés, soit vaseux, des chaudières navales sont exempts de carbonate de chaux.

Cette vase, non plus que le dépôt concrétionné, ne contient point de carbonate de chaux ; car la chaux et l'acide sulfurique s'y trouvent dans les proportions voulues pour se saturer l'une par l'autre.

Je constate donc dès à présent (sauf à le justifier plus amplement dans la note n° 2 à la fin du mémoire) ce fait important : c'est que les *dépôts formés dans les chaudières alimentées à l'eau de mer, soit concrétionnés, soit vaseux, sont exempts de carbonate de chaux*, carac-

tère qui les distingue essentiellement de ceux qui se produisent dans les générateurs alimentés à l'eau douce.

§ 2. — *Théorie de la formation des dépôts dans les chaudières navales.*

Après avoir constaté par l'analyse la nature des dépôts, j'ai recouru à la synthèse pour déterminer les circonstances de leur formation, et en déduire la théorie du phénomène. Les résultats de cette synthèse sont décrits et expliqués dans la note n° 2 (à la fin du mémoire). J'en déduis, comme conclusion, la théorie suivante de la formation des dépôts.

Le sous-carbonate de magnésie et la magnésie libre n'ont pas de tendance à se concrétionner.

1° *Dépôts vaseux.* — Après quelques instants d'ébullition, l'eau de la chaudière se trouble et reçoit en suspension, d'abord de la magnésie libre, puis du sous-carbonate de magnésie. Ces deux précipités, peu abondants, sont légers, floconneux, et n'ont aucune tendance à s'agréger. Ils forment, avec les matières organiques et terreuses que l'eau de mer tient en suspension, le dépôt vaseux qu'on trouve au fond des chaudières et sur les plans horizontaux de la surface de chauffe.

L'incrustation commence lorsque l'eau de la chaudière est au point de saturation par rapport au sulfate de chaux.

2° *Incrustation.* — Lorsque, par le progrès de l'ébullition, l'eau est arrivée à saturation par rapport au sulfate de chaux, ce sel se dépose en croûte cristalline, adhérente, sur toutes les surfaces baignées par l'eau.

On verra plus loin que l'incrustation peut commencer avant la saturation, sur les parties de la surface fortement chauffées, sans que l'ensemble de l'eau soit arrivé à saturation.

Les croûtes sont divisées en couches par des filets sédimentaires de magnésie et de sous-carbonate de magnésie.

3° *Développement de la croûte par couches.* — Lorsque la marche de la chaudière est arrêtée et que l'eau est refroidie, la partie du dépôt vaseux que les mouvements de l'ébullition tenaient en suspension tombe sur les parois de la chaudière, ou plutôt sur les croûtes qui

les recouvrent; et cette couche très-mince de vase, logée dans les aspérités de la surface mamelonnée de la croûte, y restera en majeure partie lorsque l'ébullition recommencera. Alors, si l'eau se trouve encore au-dessus du point de saturation de sulfate, il se formera une seconde couche de ce sel, superposée à la première; et ainsi la croûte se trouvera divisée par un filet de magnésie et de sous-carbonate avec un peu d'oxyde de fer ou de matière organique qui donne une couleur jaune.

Sur les points fortement chauffés, les croûtes sont moins épaisses et n'ont qu'une couche.

4° *Différences d'épaisseur des croûtes.* — La chaleur étant très-vive sur les parois de la caisse du foyer, l'évaporation y sera très-active, et, par suite, le dépôt s'y développera très-rapidement. Les croûtes devraient donc y être plus épaisses qu'ailleurs; mais c'est le contraire qui a lieu, parce que, au fur et à mesure qu'elles se forment, elles sont détachées par les mouvements de contraction et de dilatation que le métal éprouve à chaque recrudescence de l'intensité du feu. On trouve en effet que les croûtes qui recouvrent cette partie de la surface ne sont guère composées que d'une seule couche sans filet dans la cassure.

Par le motif contraire, la croûte prendra plus d'épaisseur sur les points peu chauffés, et sera composée de couches distinctes, divisées par des filets, et généralement moins épaisses que la couche unique des parois du foyer.

Le sulfate se dépose par cristallisation, mais la chaleur de la paroi enlève à la croûte l'aspect cristallin, en lui enlevant l'eau de cristallisation.

5° *Cassure amorphe des croûtes.* — Nous avons dit que la cassure des croûtes est amorphe dans presque toute leur épaisseur, sauf à la face opposée à celle du contact, où elle offre une apparence de cristallisation; nous avons dit aussi que parmi les concrétions isolées qu'on voit au fond de la chaudière, la majeure partie est formée d'un noyau amorphe enveloppé de couches cristallines.

Ces circonstances prouvent qu'au moment où une couche se dépose, elle a le caractère de la cristallisation dû à une certaine proportion d'eau, mais qu'au bout d'un certain temps de contact avec le métal, cette eau de cristallisation se dégage et la croûte devient amorphe. Le contact de la surface de chauffe suffit pour produire cet effet, car elle est toujours supérieure à 300°, et l'on sait que 200° suffisent pour enlever au sulfate de chaux son eau de cristallisation. On conçoit d'ailleurs que cette déshydratation aille en diminuant à partir de la face de contact, et qu'elle soit nulle à la face baignée par le liquide, celui-ci n'ayant guère plus de 120° de température.

§ 3. — *Formation des dépôts des chaudières alimentées à l'eau douce.*

Composition des eaux douces. Toutes les eaux douces, à l'état naturel, contiennent du bicarbonate de chaux. La plupart renferment aussi du sulfate de chaux, du chlorure de calcium, du chlorure de magnésium, du sulfate de magnésie ; ces deux derniers sels en très-faible proportion, généralement.

Dépôts du carbonate de chaux à l'état vaseux. La majeure partie du carbonate de chaux se dépose, dès les premiers moments de l'ébullition, par l'effet du dégagement d'acide carbonique. Ce dépôt affecte la forme vaseuse en général, et donne peu de concrétions.

Incrustation due au carbonate de chaux. Mais une partie de ce sel reste en dissolution : l'eau pure retient, en effet, de 1/24000 à 1/16000 de carbonate de chaux. C'est cette partie qui, en se précipitant lentement et au fur et à mesure que la vaporisation se fait, cristallise et concourt à former les concrétions.

Le carbonate de chaux figure toujours dans les dépôts vaseux ou concrétionnés. Les mêmes réactions que nous avons signalées pour les eaux de mer (voir la note n° 2), entre les sels calcaires et les sels magnésiens, se reproduisent dans les

eaux douces, et tendent à diminuer la quantité de carbonate de chaux préexistante ; mais comme ici le carbonate de chaux est très-abondant relativement au chlorure de magnésium qui tend à le détruire, le premier de ces sels subsiste dans le dépôt, contrairement à ce qui se passe pour les eaux de mer.

Quant au sulfate de chaux, il cristallise et concourt au développement de la concrétion, dès le moment où l'eau est arrivée à saturation par rapport à ce sel. Incrustation due au sulfate de chaux.

On comprend d'après cela que l'élément constitutif de ces dépôts, vaseux ou concrétionnés, consistera soit en carbonate de chaux seul, soit en un mélange, à proportions variables, de carbonate et de sulfate de chaux, suivant la nature des eaux d'où ils proviennent. Composition des dépôts.

CHAPITRE III.

MOYENS D'EMPÊCHER L'INCRUSTATION.

Le monde industriel s'occupe depuis longtemps de la recherche d'un moyen propre à prévenir l'incrustation des chaudières. On a déjà essayé beaucoup de procédés, et chaque jour on propose l'emploi de nouvelles substances chimiques ou autres. Mais tous ces procédés ont échoué, et ce qui précède explique pourquoi il en a dû être ainsi. Procédés employés jusqu'ici contre l'incrustation.

Ce n'est point par l'action directe des agents chimiques qu'on empêchera l'incrustation, et s'il existe quelque moyen d'atteindre ce but, il n'y a guère de chances de le découvrir que par l'étude des particularités que peut présenter la solubilité du carbonate et du sulfate de chaux, puisque l'incrustation n'est qu'une cristallisation de ces sels. Les agents chimiques sont impuissants contre l'incrustation.

D'ailleurs, la synthèse précitée et décrite dans la note n° 2, met sur la trace d'un moyen qui offre des

chances de succès, et qui est fondé sur la solubilité du sulfate de chaux dans les eaux salées.

J'ai donc été conduit à étudier, au point de vue spécial de la question qui nous occupe, la solubilité du sulfate et du carbonate de chaux.

Les détails de cette étude sont indiqués dans la note n° 3 (à la fin du mémoire). En voici les principaux résultats :

Solubilité du sulfate de chaux,

1° Le sulfate de chaux est moins soluble à chaud qu'à froid, soit dans l'eau de mer soit dans les eaux douces.

diminue lorsque la température augmente.

Pour les températures supérieures à 100°, la solubilité du sulfate de chaux, dans l'eau de mer, diminue à peu près proportionnellement à l'augmentation de la température; et par conséquent cette solubilité diminue très-rapidement par rapport à l'augmentation des pressions correspondantes.

Le tableau ci-après indique cette solubilité pour diverses températures, ainsi que les degrés de concentration auxquels la saturation, par rapport au sulfate de chaux, a lieu.

TABLEAU A. — *Solubilité du sulfate de chaux à diverses températures au-dessus de 103°.*

Degrés de l'aréomètre correspondant à la saturation.	Températures.	Pressions en atmosphères.	Proportion de sulfate de chaux sur 100 d'eau à saturation, ou solubilité.	Degrés de l'aréomètre correspondant à la saturation.	Températures.	Pressions en atmosphères.	Proportion de sulfate de chaux sur 100 d'eau à saturation, ou solubilité.
degr.	degr.	atm.		degr.	degr.	atm.	
12,5	103,00	1	0,500	6	118,50	»	0,226
12	103,80	»	0,477	5	121,20	»	0,183
11	105,15	»	0,432	4	124,00	2	0,140
10	108,60	1 1/4	0,395	3	127,60	»	0,097
9	111,00	»	0,355	2	130,00	2 1/2	0,060
8	113,20	»	0,310	1	133,30	»	0,023
7	115,80	1 1/2	0,267				

Ce tableau exprime que, par exemple, l'eau de mer étant soumise à l'ébullition sous pression de 1 atmosphère, ou à 103° température, arrivera à saturation de sulfate de chaux lorsqu'elle aura acquis la concentration de 12°,5 de Beaumé; et alors elle contiendra 0,500 p. 100 de ce sel; à 1atm.,25 ou à 108°,6 de température l'eau sera à saturation de sulfate de chaux lorsqu'elle marquera 10° et contiendra alors 0,395 p. 100 en sulfate de chaux; à 2 atm. de pression ou 124° de température, l'eau de mer, dans son état naturel et avant qu'elle ait éprouvé aucune concentration, est très-voisine du point où la saturation a lieu; car l'eau naturelle marque de 3 à 3°,5; et dans ce cas-ci la saturation a lieu à 4° de concentration.

2° Le sulfate de chaux devient totalement insoluble, soit dans l'eau de mer soit dans les eaux douces, à des températures comprises entre 140 et 150°. Et si l'on expose à ces températures de l'eau contenant de ce sel en dissolution, il se précipite en entier sous forme de petits cristaux ou de pellicules très-minces, suivant que ce sel est plus ou moins abondant dans la dissolution.

Le sulfate de chaux est entièrement précipité par une température de 140 à 150°.

Le sulfate ainsi précipité se redissout après le refroidissement, mais avec d'autant plus de lenteur que la température, à laquelle il s'est déposé, est plus élevée. Celui qui se dépose à 150° met plusieurs jours à se redissoudre, lors même que sa proportion relativement à l'eau est très-faible.

3° Le carbonate de chaux neutre est un peu soluble dans l'eau pure. Cette solubilité à froid est, d'après Buchloz de 1/24000 à 1/16000. Elle diminue à mesure que la température augmente; et quoiqu'elle diminue moins rapidement que celle du sulfate de chaux, elle devient néanmoins nulle à la température de 150° : à

Le carbonate neutre de chaux est précipité totalement par une température de 150°, et le précipité ne se redissout point.

cette température l'eau contenant du carbonate de chaux en dissolution l'abandonne totalement ; et une fois ainsi précipité, le carbonate ne se redissout point par le refroidissement.

De ces faits nous tirerons plus loin des conséquences qui conduiront à la solution de la question qui nous occupe.

CHAPITRE IV.

PRINCIPE DE L'ÉVACUATION.

§ 1.

Dans la synthèse précédemment citée (note n° 2) j'ai reconnu que, pour l'eau de mer,

1° La matière réellement incrustante consiste uniquement en sulfate de chaux ;

2° Que ce sel ne commence à se déposer que lorsque l'eau est arrivée à un certain degré de concentration constant. Ce degré, dépendant évidemment de la proportion de chaux préexistante dans les eaux de mer, pourra varier avec l'origine de ces eaux ; mais pour celles de l'Océan et de la Méditerranée, sur nos côtes, il est le même : 12 à 13° de l'aréomètre de Beaumé, lorsque l'ébullition a lieu à l'air libre.

Procédé de l'évacuation.

Il semble donc que, pour empêcher toute incrustation dans les chaudières alimentées à l'eau de mer, il suffirait de maintenir l'eau de la chaudière à une concentration inférieure à ce degré qui correspond à la saturation par rapport au sulfate de chaux. A quoi on parviendrait en *évacuant de l'eau de la chaudière, dans une proportion telle, relativement à la quantité d'eau injectée, que la quantité de sulfate de chaux extraite soit au moins égale à la quantité de sulfate introduite par l'alimentation.*

C'est-à-dire que P étant le poids de l'eau injectée, en un temps donné, p celui de l'eau évacuée dans le même temps; n la proportion de chaux contenue dans l'eau d'alimentation, N la proportion analogue, pour l'eau concentrée jusqu'à saturation par rapport au sulfate de chaux; il suffirait de faire $p > \frac{n}{N} P$.

Pour que ce principe soit applicable, il faut évidemment que $\frac{n}{N}$ soit une petite fraction. Cette condition se trouve assez bien remplie pour l'eau de mer; car (note 2) en supposant toute la chaux à l'état de sulfate, ce qui est permis dans la question qui nous occupe, on trouve (tableau A) que l'eau de mer naturelle, ou à 3° de Beaumé, contient 0,097 p. 100 en sulfate de chaux; et que cette même eau, amenée à saturation de sulfate par l'ébullition à l'air libre; c'est-à dire de 12°,5 de Beaumé, contient 0,500 p. 100 en sulfate de chaux. On a donc dans ce cas $\frac{n}{N} = \frac{0,097}{0,500}$ ou $< \frac{1}{5}$.

Le procédé de l'évacuation n'est applicable qu'aux chaudières à basse pression alimentées à l'eau de mer.

Remarquons toutefois que (tableau B) N diminue rapidement à mesure qu'augmente la température ou la pression à laquelle l'ébullition s'opère. Elle conserve une valeur encore assez grande, pour l'ébullition sous pression de $1^{atm.},25$ (109°) qui est le cas des chaudières à basse pression. Mais à partir des pressions de 2 à 3 atm. (121° et 135°), N prend des valeurs inférieures à n.

Quant aux eaux douces, le principe de *l'évacuation* ne saurait leur être applicable, parce que, d'une part, elles dissolvent très-peu de sulfate de chaux (moins de 0,003 p. 100 à froid), et que, d'un autre côté, elles contiennent toujours du carbonate de chaux contre lequel l'évacuation ne pourra rien.

Le procédé de *l'évacuation* est inapplicable aux eaux douces.

Il faut conclure de là que le principe de *l'évacuation*, est applicable seulement aux chaudières alimentées à l'eau de mer, et seulement encore à celles de ces chaudières qui fonctionnent à basse pression.

§ 2. — *Application aux chaudières navales à basse pression.*

Application de l'*évacuation* aux chaudières navales à basse pression.

Dans l'inégalité $p > \frac{n}{N}$ P, nous ferons donc N = 0,395 correspondant à la pression de 1atm.,25 ou 109° de température et $n = 0,140$ qui correspond à la concentration de 4°, supérieure à celle de l'eau de mer sur nos côtes et, *à fortiori*, à celle de l'eau alimentaire venant du condenseur. Et nous aurons $p > 0,35$ P; soit $p = 0,5$ P afin d'avoir une marge, toujours nécessaire dans une application en grand.

Ainsi en évacuant 0,5 pendant que l'alimentation est 1, il semble qu'on doive éviter l'incrustation.

Le procédé de l'*évacuation* n'est qu'un palliatif contre l'incrustation: il protège la surface de chauffe *indirecte*, mais non la surface *directe*.

Degré d'efficacité du procédé de l'évacuation. — Ce procédé est fondé sur un principe si nettement établi que, au premier abord, le succès en paraît entièrement assuré. Cependant il existe certains faits qui inspirent quelques doutes sur son efficacité complète. Ainsi, dans les steamers bien agencés, notamment les bateaux transatlantiques le *Great-Britain*, le *Royal-William*, l'*Asia*, le *Franklin*, le *Humboldt*, etc., les moteurs sont munis de pompes d'épuisement ou d'évacuation, et ces pompes ont une marche continue. Les steamers de la flotte française possèdent aussi des pompes d'évacuation, et, d'après les dimensions prescrites, ces appareils devraient extraire une quantité d'eau chaude égale à la moitié de l'eau injectée. Cependant, dans tous ces navires, les chaudières sont sujettes à des incrustations assez notables, sinon aussi

abondantes que dans les steamers ordinaires du commerce.

Que cette évacuation, quoique continue, ne soit pas opérée exactement dans les conditions voulues pour prévenir la saturation; cela n'est pas douteux; attendu que les pompes, seuls appareils employés dans ce but, ne peuvent pas fonctionner avec la précision nécessaire dans cette circonstance, ainsi que nous le verrons plus loin. Il n'était pas moins de toute nécessité de soumettre le *procédé de l'évacuation* à l'épreuve d'expériences directes, faites dans les mêmes conditions où se trouvent les générateurs à basse pression.

Ces expériences, dont les détails sont indiqués dans la note n° 4, à la fin du Mémoire, prouvent que le *procédé de l'évacuation est d'une efficacité incomplète : il empêche l'incrustation de la surface de chauffe* INDIRECTE; *mais il est impuissant pour protéger la surface de chauffe* DIRECTE (*).

Voici l'explication de ce fait important :

On a vu que, pour une pression ou une température d'ébullition donnée, le sulfate de chaux ne se dépose point tant que la concentration est inférieure à un certain degré correspondant. Le procédé de l'évacuation a pour but, et aura infailliblement pour effet, d'empêcher l'ensemble de l'eau de la chaudière d'atteindre cette concentration limite. Mais la chaleur étant très-vive sur les parois du foyer qui reçoivent le rayonnement du charbon et le contact de la flamme, la couche

Causes de l'inefficacité de l'*évacuation*.

(*) Suivant le langage généralement adopté par les constructeurs mécaniciens, j'appelle surface de chauffe *directe* les parties de la chaudière qui reçoivent le rayonnement du foyer et le contact de la flamme, et surface *indirecte* celles chauffées seulement par le contact de la fumée et des gaz de la combustion.

d'eau qui mouille le métal en ces endroits dépassera la température correspondante à cette concentration limite, et déposera du sulfate. On conçoit en effet qu'il faille un certain temps pour que l'équilibre de température s'établisse dans une masse d'eau, parce que cet équilibre ne s'opère que par le transport des couches, la conductibilité de l'eau étant très-faible; et il peut arriver que ce temps soit trop long relativement à la vitesse de transmission du calorique à travers certaines parties de la surface de chauffe.

Le procédé de l'évacuation n'est donc qu'un palliatif contre l'incrustation des chaudières navales à basse pression; palliatif précieux, il est vrai; car, la surface *indirecte* n'étant pas incrustée, les gaz de la combustion peuvent se dépouiller à un point convenable de leur chaleur; d'où résultera la suppression presque entière de la perte de calorique due à l'incrustation, ainsi que le prouve la note n° 1.

Appareil pour produire l'évacuation.

Appareil d'évacuation. — Il n'est pas inutile de perfectionner, dans la pratique, ce procédé, quoiqu'il soit, en principe, incomplet dans son efficacité et borné dans ses applications.

Pour que ce procédé réussisse, il faut que l'évacuation d'eau chaude soit faite avec régularité et précision; car il s'agit de maintenir l'eau de la chaudière au-dessous d'un certain degré de concentration, passé lequel il y aurait dépôt de sulfate, et néanmoins assez près de ce degré pour ne pas augmenter inutilement la perte de chaleur.

Les pompes sont un mauvais moyen pour produire l'*évacuation* avec précision et régularité.

L'appareil qui se présente d'abord à la pensée pour réaliser l'évacuation, consisterait en une pompe dont le mouvement, lié à celui de la pompe alimentaire, serait réglé de manière à extraire une quantité déterminée d'eau à chaque coup de piston. C'est en effet

le moyen que j'ai essayé dans les expériences décrites dans la note n° 4 ; mais j'ai rencontré des inconvénients qui m'y ont fait renoncer et qui m'ont convaincu qu'une pompe, quel que soit son système, ne fonctionnera jamais dans cette circonstance avec la régularité et la précision nécessaires.

En effet, la chaudière la mieux entretenue contient toujours, outre les dépôts vaseux de magnésie, des impuretés provenant soit de l'eau elle-même, soit de l'action de cette eau sur le métal et sur les masticages des joints, etc. Ces dépôts et les autres impuretés sont entraînés en partie par l'eau d'évacuation et viennent obstruer le siége des soupapes, qui, alors, ne ferment plus suffisamment bien pour un jeu régulier de la pompe.

L'appareil que je propose et décris ci-après est à l'abri de cet inconvénient, et comporte toute la régularité et la précision désirables.

La partie principale de l'appareil est un robinet C (*fig.* 3 et 4, Pl. IV) laissant échapper l'eau de la chaudière, et qui, à cet effet, est ouvert et fermé par un mouvement intermittent régulier produit par la pompe alimentaire. Robinet d'évacuation.

Les *fig.* 1 et 2, Pl. IV, représentent la moitié d'un moteur de steamer, composée d'une machine X, de deux corps de chaudière YY', et munie de l'appareil dont il s'agit. On a figuré aussi un système de *réfrigérateur* de Wilson.

L'eau chaude sort des deux corps de chaudière par les tubes *aa'* et entre dans le réfrigérateur par l'extrémité A, et en sort par l'autre bout B. Ce réfrigérateur contient quatre tuyaux extérieurs, dont deux reçoivent l'eau de la chaudière Y et la mènent au robinet C, et les deux autres reçoivent l'eau de la chaudière Y' et la mènent au robinet C'.

Le robinet C est mû par le levier E qui commande la pompe alimentaire D, à l'aide d'un segment F fixé sur ce levier et qui engrène avec un pignon G monté sur un arbre coudé H. Ce pignon est fou sur l'arbre, mais il agit par un cliquetage I sur un petit rochet K fixé sur cet arbre ; de sorte qu'à chaque mouvement ascendant de la tige de la pompe alimentaire, le rochet et par suite l'arbre tournent d'un certain angle. Cet arbre, par la manivelle L et la bielle M, communique son mouvement au levier N et par suite au robinet C. L'extrémité inférieure de la bielle porte une chappe *n* dans laquelle s'engage le bouton du levier N, et dont l'ouverture peut varier par l'effet d'un coussinet mobile qu'on fait monter ou descendre à l'aide de la vis de rappel O. On voit que cette chappe forme, pour le mouvement du robinet, ce qu'on appelle un *temps perdu*, qui sert à régler l'amplitude du mouvement du robinet pour chaque tour de l'arbre H.

L'eau évacuée se rend dans le vase P qui communique avec la vapeur de la chaudière par le tuyau Q ; en sorte que l'écoulement de cette eau, ayant lieu par le seul effet de la différence de niveau, laquelle ne varie pas sensiblement, donnera un volume constant pour chaque tour de l'arbre H. Le rapport voulu entre l'eau évacuée et l'eau alimentaire est ainsi obtenu.

Le vase P porte un tube de jauge U qui permet de mesurer au besoin le volume d'eau extrait à chaque tour de l'arbre H, et, par conséquent, de vérifier la régularité de la marche de l'évacuation.

Sitôt que le robinet C se ferme, le robinet R s'ouvre par l'effet des leviers ST, et laisse écouler l'eau dans la mer par l'effet de la pression de la vapeur agissant par le tuyau Q. Et dès que le robinet C se rouvre, R est déjà fermé.

Pour faire connaître la marche de l'évacuation, chaque corps de chaudière porte un *indicateur de densité* d'après le modèle de Seaward : c'est un tube en verre communiquant avec l'eau de la chaudière par ses deux extrémités : il porte deux boules de verre lestées, de manière à indiquer, l'une, une densité un peu plus forte, et l'autre, une densité un peu plus faible que la densité qu'on se propose pour limite. D'après la position de ces boules, on voit s'il convient d'augmenter ou de diminuer l'évacuation; et pour produire cet effet, il suffit de faire rentrer ou sortir la vis O, car ainsi on diminue ou on augmente le *temps perdu* du robinet C.

Les *fig.* 3 et 4, Pl. IV, présentent, sous une échelle plus grande, les détails de l'appareil.

On voit qu'il y a deux appareils, un pour chaque corps de chaudière ou pour chaque pompe d'alimentation. Mais comme il doit toujours y avoir une pompe alimentaire de rechange δ, agissant selon les besoins sur l'un ou l'autre corps de chaudière, il faut que cette pompe δ puisse de même, selon les besoins, agir sur l'arbre H ou sur l'arbre H', c'est-à-dire sur le robinet C ou sur le robinet C'. A cet effet, le levier ε porte deux segments $\varphi\,\varphi'$ agissant respectivement sur deux pignons $\gamma\,\gamma'$, fous sur les arbres H H'. Ces deux pignons peuvent agir sur les rochets $\mu\,\mu'$ à l'aide de cliquetages semblables à I; et l'on peut mettre au repos ces cliquetages en en appuyant la tête sur le petit bouton α. En sorte qu'on peut mener le robinet C soit par la pompe D, soit par la pompe de rechange δ, et le robinet C' soit par la pompe D', soit par ladite pompe de rechange δ.

§ 3. — *Effets de l'incrustation sur les chaudières à pression élevée.*

L'emploi de la vapeur à pression élevée sera pratiquement impossible pour les chaudières navales tant qu'on n'évitera pas les incrustations.

Les générateurs à moyenne et haute pressions ne pouvant trouver aucune ressource, dans le procédé de l'évacuation, pour diminuer les incrustations, examinons dans quel état ils se trouveraient au bout de quelques jours de mer.

Chaque mètre cube d'eau apportant dans la chaudière $1^k,5$ de sulfate de chaux, dont une bonne partie (au moins les deux tiers, soit 1 kilogramme), formerait concrétion; si l'on tient compte de l'étendue ordinaire de la surface de chauffe, de la vitesse de vaporisation, et de la densité du sulfate; on trouve que la croûte augmenterait d'épaisseur à raison de 0,015 de millimètre par heure (1). Soit donc un steamer transatlantique; et supposons le cas le plus favorable, difficile, pour ne pas dire impossible, à réaliser, celui où la chaudière serait complétement décapée, au départ. La traversée étant de quinze jours ou de trois cent soixante heures, la croûte acquerra, pendant ce laps de temps, une épaisseur de $0,015 \times 360 = 5^{mm},4$, uniformément répartie, ou à peu près, sur les surfaces *directe* et *indi-*

(*) Soit un moteur de 450 chevaux. La surface de chauffe sera de 420 mètres quarrés. La vaporisation, à raison de 30 litres par heure et par cheval, sera $30 \times 450 = 13^{mc},5$ par heure. Le poids de la croûte formée par heure sera donc $13,5 \times 1^k = 13^k,5$. Supposant la densité de la croûte égale à 2, le volume de cette croûte sera $\frac{13,5}{2} = 6,75$ décimètres cubes. Cette croûte étant distribuée uniformément sur une surface de 420 mèt. quarrés, y formera donc une épaisseur de $\frac{0,00675}{420} = 0^m,000015$ ou 0,015 de millimètre.

recte; de sorte qu'après le quatorzième jour, l'épaisseur sera d'environ 5 millimètres.

Or, le navire pourra-t-il fournir encore vingt-quatre heures de marche avec des chaudières ainsi incrustées? Du moins, cela est-il possible, comme état normal de service? On ne peut hésiter à se prononcer pour la négative, quand on compare un tel état de choses à ce qui se passe actuellement dans les chaudières à basse pression.

Dans les générateurs actuels des steamers transatlantiques, on pratique une évacuation continue, à l'aide de pompes qui, malgré leur jeu défectueux et irrégulier, diminuent l'épaisseur des croûtes, principalement sur la surface de chauffe *indirecte* : cette partie de la surface de chauffe reste couverte d'une croûte de 1/2 millimètre au plus si l'on a soin, à chaque voyage, de nettoyer la chaudière en employant le marteau et des râcloirs. Quoique incrustée, cette partie de la surface conserve donc une conductibilité relativement considérable; elle participe notablement à la vaporisation, et la surface *directe* a d'autant moins à travailler. Par suite, le feu peut être moins intense, la détérioration des parois du foyer est moins rapide, et les chances d'accident sont moins nombreuses. Et cependant ces chaudières ne résistent que difficilement à une longue navigation; et très-souvent la vaporisation se trouve tellement ralentie vers le huitième ou neuvième jour qu'on est forcé d'arrêter la marche pendant une dizaine d'heures pour nettoyer les chaudières. Que serait-ce donc si la surface *indirecte* étant continuellement fortement incrustée, presque tout le travail de la vaporisation devait se faire sur la surface *directe*, à grand renfort de combustible et moyennant une excitation outrée du feu?

Le seul moyen d'éviter les incrustations est d'alimenter avec de l'eau ne contenant point de sels calcaires en dissolution.

Il faut donc conclure que tant qu'on n'aura pas un moyen complétement efficace d'empêcher l'incrustation, il sera pratiquement impossible d'employer la vapeur à pression élevée dans la navigation maritime. Et l'on doit penser, d'après ce qui précède, que ce moyen ne peut être autre que celui qui consisterait à *alimenter les chaudières avec de l'eau exempte de sels calcaires en dissolution.*

Mais comment vaincre les difficultés qu'on rencontrera dans une usine, et surtout à bord d'un navire en mer, pour se procurer des quantités suffisantes d'une eau pareille? Il se présente trois moyens que j'examinerai successivement en faisant ressortir les avantages et les inconvénients attachés à chacun d'eux.

CHAPITRE V.

PRINCIPE DE L'ALIMENTATION MONHYDRIQUE.

Alimentation *monhydrique.*

Condenser la vapeur après qu'elle a agi dans le cylindre, de manière à ce qu'elle ne se mêle point à l'eau *condensante* qui est inévitablement calcaire, et alimenter le régénérateur uniquement avec cette eau de condensation : tel est l'un de ces moyens, que, pour abréger, je désignerai par le nom de *alimentation monhydrique*, parce qu'il consiste à alimenter avec une quantité *unique* d'eau.

L'application de ce principe exige l'emploi d'appareils appelés *condenseurs à surface*, qui ont pour but d'isoler la vapeur d'avec l'eau froide qui doit la condenser. Je vais faire sur ce genre de condenseurs une étude qui expliquera l'insuccès des tentatives faites jusqu'à présent pour les mettre en usage, et qui prouvera que l'application de l'*alimentation monhydrique* présente

des obstacles insurmontables dans l'état actuel de nos ressources mécaniques.

§ 1. — *Condenseurs à surface.*

Les premiers essais de construction de ces appareils remontent jusqu'à Watt. Depuis, et à différentes époques, sont venues les tentatives de S. Hall, de Cavé, de John Éricson et d'autres ingénieurs. Mais tous les essais ont échoué devant un obstacle : le ralentissement que la condensation éprouve dans tous ces appareils.

Dans les *condenseurs à surface*, la condensation de la vapeur éprouve un retard qui occasionne une perte de force motrice.

Nécessité d'une condensation instantanée. — A moins de subir une perte de force, il faut que la condensation de la vapeur soit instantanée. Cette condition se trouve remplie dans le *condenseur ordinaire*, où la vapeur est en contact immédiat avec l'eau froide, sur une grande surface dont on augmente l'étendue en faisant tomber cette eau en pluie dans le condenseur. Tandis que dans le condenseur à surface, la destruction de la vapeur est retardée par la difficulté que la chaleur éprouve à traverser le corps qui sépare la vapeur et l'eau condensante.

Cette perte de force augmente avec la durée du retard de la condensation. Comme il m'a paru utile de connaître la relation qui existe entre la perte de force motrice et la durée du retard, j'ai traité cette question dans la note n° 5.

Évaluation de la perte de force résultant du retard qu'éprouve la condensation.

Appliquons les formules obtenues :

Application. — Soit un moteur de 450 chevaux en deux machines de 225 chevaux chaque, marchant à $1^{atm.},25$, condensant à 30° et ayant une détente qui commence aux $\frac{2}{3}$ de la course.

Soit L, course du piston, $= 2^{m},28$.

On a :

$E = \frac{2}{3} L\ 1^m,52$; soit $m = 2$;
$\pi = 950$ millimètres de mercure;
$P = \frac{2}{3}\pi = 634$ millimètres de mercure;
$p = 31$ millimètres;

et le travail utilisé est ici $T_u = 225$ chevaux.

La formule (2) donne $\frac{T_r^o}{T_u} = 0,058$ ou $T_r^o = 13$ chev.

Ainsi un *condenseur ordinaire* oppose une résistance dont le travail est les 0,058 du travail utilisé.

La formule (4) donne $\frac{T_r - T_r^o}{T_u^o} = 3,07\, n$.

Ce coefficient 3,07 étant considérable, on voit que si n n'est pas une petite fraction, l'augmentation de travail résistant due au retard sera considérable. Si l'on fait par exemple $n = 1$, c'est-à-dire si la condensation emploie à se faire tout le temps que dure la course du piston, — à l'ascension ou à la descente, — l'augmentation de travail due au retard sera plus que le triple du travail qui aurait lieu s'il n'y avait pas de retard : dans le cas particulier que nous considérons, cette augmentation serait de 53 chevaux ou des 0,24 du travail moteur utilisé.

On comprend, d'après cela, combien il importe pour le succès d'un *condenseur à surface* de réduire le temps, pendant lequel se fait la condensation, à une faible fraction du temps compris entre deux coups de piston simples.

§ 2. — *Causes du retard de la condensation dans les condenseurs à surface.*

Causes du retard que la condensation éprouve dans les *condenseurs à surface*.

Il faut donc chercher les causes du retard de la condensation, afin de voir si l'on peut les détruire ou diminuer leur influence.

Évidemment, ces causes se résument dans la difficulté que la chaleur éprouve à traverser le corps qui sépare l'eau condensante et la vapeur, et ne sont autre chose que les circonstances qui accompagnent le phénomène de la propagation du calorique à travers ce corps.

La vitesse de transmission du calorique est exprimée par la formule

$$V = Sk\frac{a-b}{e} \qquad (1)$$

dans laquelle S est l'étendue de chacune des faces du condenseur, celle baignée par l'eau froide et celle au contact de la vapeur ; K le coefficient de conductibilité du corps ; e l'épaisseur du corps ; a et b les températures respectives des deux faces.

Mais si l'une des faces est recouverte d'une croûte d'épaisseur ε d'une substance qui ait K' pour conductibilité, la quantité V' de chaleur qui passera dans l'unité de temps sera

$$V' = SK\frac{a-b}{e+\frac{K}{K'}\varepsilon} \quad \text{(voir la note n° 1).} \qquad (2)$$

et on aura le rapport

$$\frac{V'}{V} = \frac{1}{1+\frac{K}{K'}\frac{\varepsilon}{e}}. \qquad (3)$$

Ainsi V' est proportionnel à la conductibilité K et en raison inverse de la quantité $e+\frac{K}{K'}\varepsilon$ relative aux épaisseurs du métal et de la croûte. Or le fer et le cuivre sont les seuls métaux qu'on puisse, pratiquement et avec le plus d'avantage, employer pour les *conducteurs à surface* : mettons-nous donc dans cette hypothèse.

1° L'épaisseur du métal.

Épaisseur du métal. — Les eaux, surtout l'eau de mer, ayant une action corrosive, assez forte sur le fer, moins vive mais néanmoins notable sur le cuivre, ces métaux s'amincissent graduellement ; d'où résulte la nécessité de leur donner une certaine épaisseur qui ne saurait être moindre que 5 millimètres pour le fer et 2 millimètres pour le cuivre.

Conductibilité du métal. — Ces métaux sont bons conducteurs ; mais plusieurs circonstances inhérentes au *condenseur à surface* concourent à leur ôter cette propriété :

2° La couche infiniment mince et peu conductrice d'eau qui mouille les faces du condenseur.

1° La face du condenseur en contact avec la vapeur est toujours couverte d'une couche d'eau, lors même que la surface est verticale ; et quoique, dans ce cas, cette couche soit très-mince, elle diminue considérablement la conductibilité. La face mouillée par l'eau condensante est elle-même recouverte d'une couche très-mince qui se renouvelle très-difficilement à cause du frottement, quelle que soit la vitesse du courant d'eau froide. Or on sait, d'après des expériences de MM. Thomas et Laurent, que la conductibilité du cuivre qui est de 19,11 est réduite à 1,22 lorsqu'on ne renouvelle point les couches du liquide qui mouille la surface de transmission.

3° L'encrassement des surfaces produit par l'oxydation du métal.

2° La face au contact de la vapeur se couvre promptement d'une couche d'oxyde ; dans le cas du fer cette croûte est très-adhérente, se développe toujours sous l'influence qui la produit, et ne tarde pas à atteindre des épaisseurs de plus de 1 millimètre : dans le cas du cuivre, la croûte se forme moins vite et, une fois formée, elle protége le métal contre une action ultérieure ; mais on peut bien sans exagération, la supposer de 0,1 de millimètre.

Lorsque la condensation est faite au moyen d'eau de

mer, l'autre face du condenseur reste décapée, parce que l'oxyde qui s'y forme est dissous par l'eau de mer. Mais si l'on se servait d'eau douce, cette face se trouverait également encrassée, et contribuerait à retarder encore plus la condensation. Dans ce cas, la vitesse de transmission du calorique serait :

$$V'' = SK. \frac{a-b}{1+\frac{K}{\gamma}\frac{\eta}{e}+\frac{K}{K'}\frac{\varepsilon}{e}} \quad (*) \quad (4)$$

et l'on aurait le rapport

$$\frac{V''}{V} = \frac{1}{1+\frac{K}{\gamma}\frac{\eta}{e}+\frac{K}{K'}\frac{\varepsilon}{e}}. \quad (5)$$

Appliquons les formules (3) et (5) à des *condenseurs à surface* en fer ou en cuivre, et ayant les épaisseurs reconnues plus haut nécessaires, nous aurons

pour le fer :

$e=5$; $\varepsilon=1$; $K=374$; $K'=23$; $\gamma=23$; $\eta=1$;

et il vient

$$\frac{V'}{V} = 0{,}24 \quad \text{et} \quad \frac{V''}{V} = 0{,}13;$$

c'est-à-dire que la vitesse de transmission est réduite, par l'effet de l'oxydation, aux 0,25 dans le cas de l'eau de mer et aux 0,13 dans le cas de l'eau douce.

Pour le cuivre :

$e=2$; $K=898$; $K'=\gamma=23$; $\varepsilon=0{,}1$; $\eta=1$;

et il vient

$$\frac{V'}{V} = 0{,}33 \quad \text{et} \quad \frac{V''}{V} = 0{,}24.$$

4° L'encrassement des surfaces produit par la graisse venant du cylindre.

3° La vapeur en sortant du cylindre entraîne une petite partie du suif dont on lubrifie le piston. Ce corps gras forme avec l'oxyde métallique et avec les particules

terreuses que la vapeur amène de la chaudière, une croûte onctueuse très-peu conductrice qui prend bientôt une épaisseur considérable et qui alors empêche entièrement la condensation. Cet encrassement du condenseur par le suif est un grand écueil pour les *appareils à surface* : de toutes les causes qui influent sur le retard de la condensation c'est la plus funeste ; et l'on peut affirmer qu'elle frappera d'impuissance tout appareil de ce genre dans lequel on n'aura pu en détruire les effets.

Conditions auxquelles devrait satisfaire, pour réussir, un *condenseur à surface*.

Par l'analyse qui précède on voit que pour assurer le succès d'un *condenseur à surface*, il faudrait le faire en un métal inattaquable par l'eau de mer, inoxydable dans l'eau douce et dans l'air humide, d'une grande conductibilité pour la chaleur, et résistant sous une faible épaisseur ; il faudrait lui donner une très-grande surface de transmission sous un petit volume de l'appareil ; enfin il faudrait posséder un moyen de détruire de temps en temps, sur la surface de transmission l'encrassement que le suif y produit.

Il ne serait sans doute pas impossible de satisfaire à quelques-unes de ces conditions ; mais il en est de très-essentielles qu'il me paraît difficile de remplir dans l'état actuel de nos ressources mécaniques. Aussi ai-je pensé qu'il faut chercher ailleurs que dans le principe de l'alimentation monhydrique le moyen d'arriver au but proposé.

CHAPITRE VI.

PRINCIPE DE LA CONDENSATION MONHYDRIQUE.

Condensation *monhydrique*.

Le moyen que nous venons d'examiner peut être modifié de manière à éviter les inconvénients qui, comme nous l'avons vu, le rendent inapplicable. Ces inconvénients résident dans l'emploi du condenseur à surface,

et cesseraient si l'on pouvait se servir d'un condenseur ordinaire où la vapeur et l'eau condensante seraient mises en contact immédiat. Il faut donc injecter dans le condenseur de l'eau condensante qui soit, elle-même, exempte de sels calcaires; et, à cet effet, se servir d'une quantité d'eau *unique* et toujours la même : à chaque coup de piston, une portion de cette eau sera introduite dans le condenseur; et l'eau chaude, extraite en même temps par la pompe à eau et à air, sera portée dans un réfrigérant où elle prendra une température assez basse pour redevenir apte à condenser de nouveau.

Le principe que nous indiquons ici étant caractérisé par l'emploi d'une seule et même quantité d'eau pour la condensation, je le désignerai, pour abréger, sous le nom de condensation monhydrique.

Toute la difficulté consistera à refroidir l'eau condensante à un degré assez bas et en quantité suffisante pour les besoins du condenseur : et il faudra employer généralement, pour cet effet, une grande quantité d'eau froide et des réfrigérants à surfaces très-étendues et très-conductrices. Réfrigérant. Conditions auxquelles il doit satisfaire.

Or, d'une part, l'eau qu'il s'agit de refroidir, venant du condenseur, sera chargée de graisse qui encrassera la face de transmission. En second lieu, l'eau réfrigérante, si elle est puisée dans une rivière ou dans un puits, contiendra du carbonate de chaux qui encroûtera plus ou moins la face réfrigérante. L'appareil devra donc avoir une disposition qui permette de décaper de temps en temps ces deux faces.

Spécification de l'appareil. — On peut concevoir diverses manières de remplir les conditions sus-énoncées. La suivante, qui peut être appliquée soit aux machines Spécification de l'appareil.

fixes, soit à celles des steamers, me paraît mériter la préférence.

Une pompe (ce sera la *pompe à eau et à air* de la machine ou toute autre) élèvera l'eau extraite du condenseur jusqu'à un réservoir placé à une hauteur de quelques mètres, et au-dessous duquel est posé un *réfrigérant* composé de tubes en cuivre, verticaux enveloppés dans une caisse cylindrique aussi en cuivre.

L'eau chaude descend de ce réservoir dans les tubes, qui sont plongés dans de l'eau froide sans cesse renouvelée par un courant dirigé de bas en haut et imprimé à l'aide soit d'une chute d'eau, soit de pompes, soit d'hélices, etc.

Pour détruire l'encrassement de la surface intérieure des tubes, lequel sera produit par la graisse, on introduit de temps en temps dans ces tubes une dissolution alcaline concentrée et bouillante qui dissoudra le corps gras.

Le nettoyage de la surface extérieure des tubes est fait par un procédé analogue, en introduisant, dans la capacité où se meut l'eau réfrigérante, une dissolution faible d'acide chlorhydrique qui dissoudra le carbonate.

Par l'effet d'un système de robinets convenablement disposés, ces deux opérations sont effectuées promptement, sans travail, sans arrêter la machine et même sans altérer en rien son régime. Pour cela, les tubes, au lieu d'être contenus dans une seule et même caisse, sont divisés en plusieurs groupes, enveloppés, chacun, d'une caisse; et l'on s'arrange de manière qu'il y ait en *surnombre* ou *rechange* une de ces caisses avec ses tubes. L'une quelconque de ces caisses peut être mise au repos pendant que les autres fonctionnent, et peut par conséquent être nettoyée, comme nous venons de le dire, ou subir toute autre réparation.

Pour éclaircir la spécification ci-dessus, je décrirai ici un de ces appareils adapté au moteur d'un steamer. Description d'un appareil appliqué à un steamer.

Pl. IV. *Fig.* 5. Coupe du navire, en travers de la salle des machines.

Fig. 6. Coupe horizontale des machines et des réfrigérants.

Fig. 7. Vue en élévation du réfrigérant de l'une des machines.

Fig. 8. Vue horizontale de ce réfrigérant, avec coupe d'une des caisses et d'une des hélices.

A^1 A^2 A^3 A^4 A^5 sont des caisses cylindriques en cuivre, portant à chaque extrémité une plaque à tubes et terminées en haut et en bas par une calotte sphérique. Elles contiennent un grand nombre de tubes en cuivre soudés aux deux plaques. Elles sont posées verticalement le long de la machine.

B réservoir recevant l'eau chaude extraite du condenseur; et la distribuant dans les calottes sphériques supérieures et par conséquent dans les tubes des caisses à l'aide du tuyau horizontal D et des robinets f^1 f^2 f^3 f^4 f^5.

En descendant l'eau se refroidit et s'écoule dans les calottes sphériques inférieures, d'où un tuyau horizontal E à robinets, la conduit, par la branche G, dans le condenseur H; et cet écoulement est réglé selon les besoins du condenseur par un robinet placé sur cette branche.

Le courant ascendant d'eau réfrigérante est produit ici par des hélices I^1 I^2 I^3 I^4 mues par l'arbre moteur de la machine : l'eau est aspirée dans la mer par les tuyaux inférieurs K et rejetée dans la mer par les tuyaux supérieurs L; et comme les hélices et les tuyaux sont au-dessous de la ligne de flottaison X, le courant se fera par un simple déplacement d'eau horizontal.

L'aspiration des hélices s'opère par les branches $N^1 N^2 N^3 N^4$ qui agissent sur toutes les caisses ensemble. Cette communication peut être interrompue pour chaque caisse par des soupapes à manivelle $O^1 O^2 O^3 O^4 O^5$. De même la prise d'eau dans la mer peut être interrompue pour chaque caisse, par les soupapes à manivelle $P^1 P^2 P^3 P^4 P^5$. Le but de ces soupapes supérieures et inférieures est d'interrompre le travail dans l'une quelconque des caisses, sans arrêter celui des autres, lorsqu'il faut réparer cette caisse ou en nettoyer les tubes.

Nettoyage des tubes à l'intérieur. Supposons qu'il s'agisse de la caisse A^1 par exemple :

On isole la caisse d'avec le condenseur et d'avec le réservoir en formant les robinets e^1 f^1.

On expulse l'eau actuellement contenue dans les tubes, en ouvrant le robinet g^1 qui amène de la vapeur de la chaudière par le tuyau Q, et en ouvrant le robinet h^1 qui ramène cette eau par le tuyau R au réservoir B.

Lorsque toute cette eau est expulsée (ce dont on est averti par la sortie de la vapeur à l'extrémité du tuyau qui débouche au-dessus du réservoir B) on ferme le robinet J et le robinet g^1, puis on ouvre le robinet *l* placé sur une seconde branche du tuyau R, laquelle communique avec un récipient contenant la dissolution alcaline. Aussitôt cette dissolution se précipitera dans l'intérieur des tubes et montera jusqu'à sortir par le petit robinet r^1 placé à la calotte sphérique d'en haut.

Dans la plupart des cas, le contact de la dissolution à froid suffira pour dissoudre le corps gras qui encrasse les tubes; mais, s'il était nécessaire d'employer cette dissolution à chaud, on agirait comme il suit :

Avant de faire la manipulation ci-dessus, on expulse l'eau réfrigérante de la caisse. Pour cela, on ferme la

soupape o^1. On ouvre le robinet m' qui amène de la vapeur, laquelle refoulera dans la mer l'eau réfrigérante par le tuyau k^1. Lorsque le niveau de cette eau sera descendu jusqu'au bas des tubes (ce qui aura lieu lorsque le robinet n^1 donnera de la vapeur), on ferme la soupape P^1. On laissera ainsi pendant quelques minutes arriver la vapeur par le robinet m^1, et pendant ce temps on introduira la dissolution alcaline dans les tubes par la manipulation ci-dessus décrite. Cette dissolution ne tardera pas à bouillir au contact de la vapeur.

Au bout de quelques minutes de contact de la dissolution alcaline, le nettoyage est terminé. On ramène la dissolution dans son récipient, en rouvrant les robinets g^1 l; lorsqu'on entend la vapeur gargouiller dans ce récipient, c'est signe que toute la dissolution est retournée dans le récipient. Alors on ferme les robinets l h^1 g^1 m^1 n^1; et l'on peut ensuite faire fonctionner cette partie de l'appareil.

Nettoyage des tubes à l'extérieur. — Dans les steamers de la navigation maritime, cette opération est inutile, parce que l'eau de mer corrode légèrement le cuivre et le tient toujours décapé. Mais dans le cas où, le réfrigérant fonctionnant avec de l'eau douce, les tubes seraient encroûtés de carbonate de chaux, on les nettoierait comme il suit :

On fait usage du tuyau S dont la branche verticale se rend dans un récipient contenant une dissolution faible d'acide chlorhydrique, et dont la branche horizontale peut amener cette dissolution dans chacune des caisses par les robinets p^1 p^2 p^3 p^4 p^5.

Supposant qu'il s'agisse toujours de la caisse A^1 on commence par expulser l'eau réfrigérante, comme on l'a dit ci-dessus. En ouvrant ensuite le robinet p^1 la dissolution s'introduira dans la caisse. On aura soin de

tenir ouvert le robinet q^1 pour laisser dégager le gaz acide carbonique.

Pour ramener ensuite la dissolution dans son récipient, on ferme le robinet q^1, on ouvre m^1 ; et lorsque la vapeur débouche dans le récipient, on ferme p^1, etc.

CHAPITRE VII.

PRINCIPE DE L'ALIMENTATION A L'EAU SURCHAUFFÉE.

L'eau est dépouillée de ses sels calcaires par l'ebullition à 150°.

Nous avons prouvé, chap. III, § 2 ; que le sulfate de chaux est tout à fait insoluble dans l'eau, soit douce, soit de mer, à une température de 150° ; que la partie de carbonate de chaux, retenue en dissolution après l'expulsion de l'acide carbonique en excès, se précipite également en entier à cette température. Ces précipités s'offrent — à l'état de cristaux microscopiques, — dont la majeure partie tombe au fond du vase, le reste formant incrustation sur les parois.

Surchauffeur.

Si donc, avant d'introduire l'eau dans le générateur, on l'expose pendant quelques instants à l'ébullition sous une pression de 5 atmosphères (correspondant à 150° de température) dans un vase spécial (que j'appellerai *surchauffeur*), et qu'on filtre cette eau pour la séparer du précipité ; elle sera dépouillée de toute sa chaux, et ne sera plus apte à incruster.

Le filtrage est inutile dans les steamers fonctionnant à une pression de 4 à 5 atmosphères.

Remarquons que l'opération du filtrage sera inutile dans les cas qui réuniront les conditions suivantes : 1° Lorsque l'eau pourra passer du *surchauffeur* dans le générateur au fur et à mesure que l'alimentation se fera ; 2° lorsque l'eau conservera dans le générateur à peu près la même température qu'elle a dans le *surchauffeur;* ce qui aura lieu pour les générateurs qui fonctionnent sans intermittence (comme les steamers)

et qui marchent à une pression de 4 à 5 atmosphères. Il arrive, en effet, dans ces cas, que l'eau, ne pouvant pas redissoudre le précipité, peut rester au contact de ce précipité sans redevenir incrustante.

J'en conclus que pour appliquer le principe dont il s'agit, avec toute la simplicité possible, à la navigation, il faudra adopter des machines fonctionnant à haute pression, soit à 4 ou 5 atmosphères. Cette conséquence est d'autant plus acceptable qu'elle concourt à augmenter la puissance de la vapeur, en étendant le champ de la détente.

Le filtrage est nécessaire pour : 1° les machines à travail intermittent ; 2° les machines à basse et moyenne pression ; 3° les locomotives.

Mais, pour les générateurs qui ont une marche interrompue par de longs repos (comme dans presque toutes les machines fixes qui ne fonctionnent que 12 à 15 heures sur 24), le filtrage sera nécessaire. Il le sera également pour les machines qui marchent à basse ou à moyenne pression, ainsi que pour les locomotives, parce qu'elles ne peuvent pas puiser directement l'eau d'alimentation dans le *surchauffeur* : dans ces divers cas, l'eau descend, avant d'entrer dans le générateur ou après son entrée dans le générateur, à une température qui permet la redissolution du précipité calcaire. Toutefois la nécessité du filtrage n'est absolue que pour les locomotives : nous verrons plus loin comment on peut s'en passer dans les machines fixes à haute et moyenne pression, et à travail intermittent.

Dégagement d'air et d'acide carbonique, pendant le *surchauffement* de l'eau.

Pendant le *surchauffement* de l'eau, celle-ci, quelle que soit sa nature, dégagera de l'air et de l'acide carbonique auxquels il faudra donner une issue. Il s'échappera en même temps par cette issue de la vapeur qu'il convient d'utiliser. A cet effet, le *surchauffeur* devra porter une soupape chargée d'un poids qui en permette le soulèvement à la pression de 5 à 5 1/2 atmosphères ; et cette soupape s'ouvrira dans un tuyau

conduisant les gaz et la vapeur dans la chambre de vapeur des chaudières génératrices.

La surface de chauffe du *surchauffeur* doit être au moins les 0,28 de celle du générateur.

L'eau devant être portée à 150° dans le *surchauffeur*, y acquerra 140°, en supposant qu'elle ait 10° de température initiale. Le générateur n'aura donc à lui transmettre que 640 — 140 = 500 unités de chaleur. De là résulte un rapport obligé entre les surfaces de chauffe du *surchauffeur* et du générateur. Ce rapport sera de $\frac{140}{500} = 0,28$; chiffre qu'il faut prendre comme un *minimum;* car le *surchauffeur* sera sujet à incrustation, tandis que le générateur en sera garanti.

Le surchauffeur est sujet à incrustation.

On voit que le principe de l'alimentation à l'eau surchauffée ne supprime pas absolument les effets de l'incrustation; puisqu'ils subsistent pour le *surchauffeur* lui-même qui entre dans la surface de chauffe totale pour 0,28 sur 1,28 ou pour 22 sur 100. Mais en mettant à profit un fait d'expérience qui a été observé d'abord dans la chaudière inventée par M. Spiller, et plus tard dans celle de M. Arnier, on peut construire le *surchauffeur* de manière à réduire à peu de chose les effets de l'incrustation. Ce fait consiste en ce que, si, dans une chaudière, on dispose au-dessus du foyer des tubes de petit diamètre, communiquant par un bout avec l'eau du fond de la chaudière, et par l'autre avec l'eau d'en haut, ces tubes ne s'incrustent point et restent parfaitement décapés (*).

Moyen de diminuer l'incrustation dans le surchauffeur.

(*) Ce fait s'explique par les propriétés que nous avons reconnues au sulfate de chaux : il s'établit dans ces tubes un courant rapide d'eau, laquelle, passant ainsi en petite masse sous l'action du foyer, acquiert presque subitement, en cet endroit, une haute température qui précipite des sels calcaires à l'état de sulfate; et le frottement causé par l'eau et surtout par ce précipité cristallin et anguleux qu'elle entraîne, nettoie les surfaces et en détache incessamment les particules qui tendraient à s'y fixer.

Surchauffeurs pour les steamers.

Appareils surchauffeurs. — D'après ce qui précède, je suis conduit à proposer pour *surchauffeur* l'appareil suivant, que je décrirai, afin de préciser, comme s'il devait être appliqué à un générateur de steamer, mais qui convient également à toutes sortes de machines, fixes ou locomotives.

Description.

1° *Surchauffeur pour les steamers* (Pl. IV, *fig.* 9, 10).

A est un cylindre en tôle, terminé par deux faces planes, enveloppant tout l'appareil et contenant l'eau qui doit être surchauffée.

B est un autre cylindre, rivé aux deux faces planes du cylindre A, se raccordant sur l'avant à une caisse C à faces planes, laquelle forme l'enveloppe du foyer et du cendrier. Ce cylindre B conduit la fumée jusqu'à l'arrière, d'où elle passe dans deux tuyaux D D′ qui la ramènent à l'avant; puis elle retourne à l'arrière par deux autres tuyaux E E′ qui la jettent dans la cheminée F. Ce cylindre B et les tuyaux DD′, EE′ étant rivés aux deux faces du cylindre A, renforcent ces faces contre la pression intérieure, et sont d'un nettoyage facile.

Dans le cylindre B se trouvent des tubes *a* en cuivre, fixés d'un bout à une caisse *b* reposant par des oreillons *c* sur deux glissières ou supports *d* fixées sur la caisse du foyer. L'autre bout de ces tubes est fixé à une autre caisse *e* rivée sur la face d'arrière du cylindre A. Cette caisse *e* est divisée en deux compartiments égaux *g h* dont l'un, l'inférieur, communique avec le fond de la chaudière par le tuyau *f*; et l'autre, le supérieur *h*, communique, en traversant le cylindre B, avec le haut de la chaudière.

Ces tubes *a* recevant le rayonnement du foyer et le contact de la flamme, transmettront rapidement une grande quantité de calorique à l'eau qu'ils contiennent,

et qui, par là même, devenant moins dense, tendra à s'élever. Il s'ensuivra un courant continu d'eau partant du fond par le tuyau *f*, et parcourant le compartiment *g*, les tubes qui débouchent dans ce compartiment, puis la caisse *b*, les tubes qui débouchent dans le compartiment *h*; et de là se rendant dans la chaudière A, où il se rabat sur les flancs du cylindre B.

Par ce mouvement, l'eau sera renouvelée rapidement au contact de ces surfaces chaudes et portée très-vite à la température voulue de 150°.

Après avoir séjourné quelque temps dans le *surchauffeur*, l'eau se rend dans les générateurs en passant par le tuyau K, dont l'extrémité ne plonge que de quelques centimètres au-dessous du niveau. Et l'eau froide est injectée dans le *surchauffeur* par le tuyau *i*, à l'aide de la pompe alimentaire.

Le précipité calcaire, qui consiste en cristaux assez lourds de sulfate et de carbonate, est entraîné dans les tubes parce que le mouvement de l'eau y est rapide; mais en débouchant au haut de la chaudière en *l*, ils retombent à peu près verticalement et s'entassent au fond : en sorte que le tuyau K, placé à l'autre extrémité et en haut, n'aspirera que de très-faibles quantités de ce précipité. D'ailleurs, comme nous l'avons dit plus haut, cette petite quantité de précipité ne se redissoudra pas si les générateurs fonctionnent entre 4 et 5 atmosphères.

G est un dôme pour recevoir les gaz dégagés par l'eau, jusqu'à ce que leur tension soit assez forte pour soulever la soupape J qui les laisse échapper, par les tuyaux *m n* dans les chambres à vapeur des chaudières génératrices.

On voit que le *surchauffeur* que je propose présente la disposition qui caractérise la chaudière de Spiller

et celle d'Arnier. Cette disposition étant très-favorable à la production rapide de la vapeur, on ne peut qu'en recommander l'adoption pour les générateurs des steamers et des machines fixes.

Supposant donc qu'on adopte ce genre de chaudières pour un steamer, le système de la vaporisation devra se composer de deux corps de chaudière égaux du même type que le *surchauffeur* ci-dessus décrit, et d'un troisième corps semblable faisant fonction de *surchauffeur*. Ce troisième corps doit avoir au moins les 0,22 de la surface de chauffe totale. Cette condition permettrait de lui donner des dimensions inférieures à celles des autres corps de chaudière. Mais il vaut mieux faire les trois corps égaux; parce qu'ainsi le *surchauffeur* ayant une surface de chauffe plus grande d'un tiers que celle qui serait nécessaire, le feu pourra y être beaucoup moins vif; et, par suite, l'incrustation de la caisse du foyer et des autres parties des carneaux n'aura qu'une faible influence sur l'utilisation du combustible et ne créera aucune chance appréciable d'explosion.

Dimensions de la surface de chauffe du *surchauffeur*.

2° *Surchauffeur pour les machines fixes.* — L'appareil que je viens de décrire n'a besoin que d'une addition pour être applicable aux machines dont le travail n'est pas continu ou qui fonctionnent à basse ou à moyenne pression : cette addition a pour but de filtrer l'eau à la sortie du *surchauffeur* et avant son entrée dans le générateur.

Surchauffeur pour les machines fixes à travail intermittent.

Le filtre imaginé par M. de Fonvielle fournit le moyen d'exécuter cette opération.

La *fig.* 11 de la Pl. IV présente une coupe de l'appareil de filtrage.

H est un cylindre en tôle terminé par deux calottes sphériques, dont l'une L formant couvercle est boulonnée et porte un tuyau à robinet *o* pour la sortie de

Appareil de filtrage.

l'eau filtrée. L'autre calotte a aussi un tuyau à robinet *p* pour expulser de temps en temps la vase accumulée sous le filtre.

M est un cylindre ouvert par les deux bouts, d'un diamètre un peu plus petit que celui du cylindre H et reposant sur une couronne *q* fixée sur le cylindre H et formant, avec cette couronne et une tresse en chanvre interposée, un joint étanche. Ce cylindre porte la matière filtrante consistant en une couche de sable *s* et une couche *r* formée de rognures d'éponge. Ces deux couches sont comprises et maintenues entre trois plateaux percés d'un très-grand nombre de petits trous, et cela, au moyen d'un boulon *t*, qui assujettit tout le système du filtre à la calotte inférieure. Cette disposition permet de démonter facilement le filtre pour les réparations ou les nettoyages.

Le tuyau *u* communique avec l'eau du *surchauffeur* à quelques centimètres au-dessous du niveau, et amène cette eau au-dessous du filtre par le robinet *v*.

Le robinet *x*, qui peut amener cette eau au-dessus du filtre, a pour but de nettoyer le filtre par le procédé indiqué par M. de Fonvielle, et qui consiste à diriger le courant d'eau successivement au-dessous et au-dessus du filtre par le jeu alternatif et rapide des robinets *v* et *x*, et à produire ainsi des chocs qui rouvrent les pores du filtre.

Il existera, par chaque *surchauffeur*, au moins deux filtres dont un de rechange ; et ils seront placés soit sur le surchauffeur, soit dans un autre endroit plus à portée pour les nettoyages et les réparations. La surface filtrante devra être proportionnée à la quantité d'eau à débiter par le filtre. On sait à cet égard, d'après le rapport fait à l'Académie des sciences par M. Arago sur le *filtre Fonvielle*, que 1 mètre carré de surface filtrante,

sous une différence de pression de 1$^{at.}$,6, fournit plus de 2 mètres cubes d'eau par heure. Ici le débit sera beaucoup plus considérable ; car la différence de pression sera plus grande, et les impuretés de l'eau moins encrassantes, parce qu'elles seront coagulées et rassemblées par l'ébullition.

L'emploi du filtre serait le moyen le plus sûr d'éviter l'incrustation dans les machines fixes à travail intermittent, et il est indispensable pour celles de ces machines qui fonctionnent à basse pression. Mais on peut, à la rigueur, s'en passer dans les machines fixes à haute pression, et même dans celles à moyenne pression. On peut se passer du filtrage dans les machines fixes à haute et à moyenne pression et à travail intermittent.

En effet, le sulfate de chaux, lorsqu'il vient d'être précipité à une haute température est déshydraté, peut-être complétement et au moins en grande partie, et dans cet état il se redissout difficilement, même à la température ordinaire, et *à fortiori*, à une température de 120 à 130°. Si donc on s'arrange pour que du soir au lendemain matin la température de la chaudière ne s'abaisse pas de plus d'une dizaine de degrés (de 130 à 120°, dans le cas d'une chaudière à moyenne pression), l'eau ne redissoudra pas sensiblement de précipité. Or on pourra facilement restreindre dans ces limites, ou à peu près, le refroidissement de la chaudière, en interceptant tout courant d'air dans les carneaux.

Un moyen plus sûr d'éviter tout inconvénient qui pourrait résulter de la redissolution du précipité, consisterait à vider chaque matin l'eau de la chaudière et la faire repasser dans le *surchauffeur*. Pour cela on commencerait par allumer le feu sous le *surchauffeur* seul : lorsque l'eau y serait à 150° on ouvrirait le robinet qui amène cette eau à la partie supérieure de la chaudière, et en même temps un autre robinet posé

sur un tuyau qui ferait communiquer le fond de la chaudière avec un récipient. Il est évident que l'eau qui a passé la nuit dans la chaudière étant moins chaude s'écoulera dans cé récipient, et sera remplacée par de l'eau venant à l'instant du *surchauffeur*.

Surchauffeur pour les locomotives.

3° *Surchauffeur pour les locomotives.* — Dans les chemins de fer, l'eau d'alimentation est fournie par réservoirs placés sur différents points de la ligne, et reçue dans un tender où la pompe alimentaire la puise, pendant la marche, pour l'injecter dans la chaudière de la locomotive. Généralement, l'eau est élevée dans ces réservoirs par une machine à vapeur établie *ad hoc.*

A ce matériel déjà existant, il faudra ajouter, sur chacun de ces points de la ligne, un *surchauffeur* avec filtre, comme nous venons de le décrire, et en outre un *réfrigérant* destiné à faire passer dans l'eau froide, qui se rend sur le *surchauffeur*, l'excès de chaleur que possède l'eau sortant du filtre, afin de ne point perdre de calorique. On pourrait appliquer ici avec avantage le réfrigérant que j'ai décrit plus haut à propos du procédé de la condensation *monhydrique.* Par ce moyen, on pourra faire arriver dans le réservoir l'eau filtrée, avec une température qui sera à peu près la moyenne entre 150 et 10° ; soit 85°. La déperdition du calorique due au séjour dans le réservoir sera faible, si l'on a soin d'établir ce réservoir au-dessus du fourneau du *surchauffeur* ou de la machine à vapeur. Ainsi le tender recevra de l'eau à environ 80° ; et il sera facile de faire la caisse à eau du tender, de manière qu'elle ne laisse perdre que peu de chaleur, soit 10° au plus. On peut donc espérer que l'eau arrivera dans la locomotive avec une température d'au moins 70°, et n'ayant subi qu'une perte qui n'excédera pas 15° ou $\frac{15}{640}$ ou $\frac{1}{42}$ de la chaleur utilisée.

CHAPITRE VIII.

Les machines à condensation pouvant employer l'un ou l'autre des deux moyens que nous venons de décrire et qui sont fondés sur deux principes différents, savoir : la *condensation monhydrique* et l'*alimentation à l'eau surchauffée;* il est utile de rechercher lequel de ces moyens est préférable. Comparaison des procédés qui précèdent.

La *condensation monhydrique* a le grand avantage d'injecter dans le condenseur de l'eau purgée de tout gaz. L'eau ordinaire contient environ vingt fois son volume d'air; et ce gaz se dégageant en grande partie dans le condenseur tend à y diminuer le vide : on est donc obligé de donner de grandes dimensions à la pompe à eau et à air (en général, son diamètre est le 1/4 ou le 1/5 de celui du cylindre moteur). La *condensation monhydrique* permettrait de réduire considérablement ces dimensions et de diminuer en conséquence le travail perdu de la machine. Avantages de la condensation monhydrique.

Mais à côté de cet avantage se trouvent divers inconvénients : Inconvénients.

1° Le *réfrigérant*, destiné à refroidir l'eau condensante, est un appareil encombrant. Ce défaut, déjà assez sensible dans un steamer de fort tonnage, serait capital pour les petits bateaux et rendrait inapplicable à ces derniers le système de la *condensation monhydrique*. Encombrement de l'appareil.

2° Dans le travail de la machine, des générateurs et du *réfrigérant*, il se perd de l'eau, soit à l'état liquide par les joints des tôles des chaudières, soit à l'état de vapeur par les soupapes, les stuffing-boxes..., etc. Déficit d'eau d'alimentation.

2° Le refroidissement de l'eau condensante exige l'emploi d'une quantité considérable d'eau réfrigérante. Travail moteur absorbé par le jeu du réfrigérant.

Dans le cas d'un steamer, cette eau se trouve à pied-d'œuvre et, comme nous l'avons vu, on peut s'arranger de manière à n'avoir pas à l'élever, mais seulement à lui imprimer un déplacement horizontal.

Il n'en sera pas de même, en général, pour les machines de terre : l'eau réfrigérante devra être prise dans un puits, et souvent à d'assez grandes profondeurs pour occasionner un travail notable.

L'eau réfrigérente n'est pas assez froide dans certains cas.

4° S'il est vrai qu'à bord des steamers on peut se procurer des quantités indéfinies d'eau, celle-ci n'a pas toujours une température assez basse pour agir comme réfrigérant. Ainsi, il y a certains parages maritimes où l'eau à la surface de la mer possède des températures de 20, 25, 30° et même plus élevées. Et en ce qui concerne la navigation fluviale, on doit remarquer que, à certaines époques de l'année, les cours d'eau prennent des températures de 20 à 25°. Dans ces circonstances l'eau condensante ne pourrait pas être refroidie suffisamment pour produire une bonne condensation.

Avantages du système de *l'alimentation à l'eau surchauffée.*

L'*alimentation à l'eau surchauffée* exige des appareils plus simples (surtout lorsque le filtrage n'est pas nécessaire) et dont toutes les parties concourent à la vaporisation ; car le travail du *surchauffeur* vient en déduction de celui des générateurs.

Il est vrai que le *surchauffeur* est sujet à incrustation ; mais c'est seulement sur la surface de chauffe la moins chauffée ; et comme, d'un autre côté, le feu y peut être beaucoup moins vif que dans le foyer des générateurs, l'incrustation ne créera aucune chance appréciable de danger et n'entraînera qu'une faible perte de chaleur.

Ce système doit être préfere pour les steamers.

Aussi, quoique ce système ne permette aucune réduction dans le travail de la pompe à eau et à air, je

pense qu'on ne devra point hésiter à lui donner la préférence dans la navigation maritime ou fluviale.

Pour les machines de terre, lorsqu'on aura de l'eau de puits à une petite profondeur, pour le service du réfrigérant, le système de la *condensation monhydrique* offrira, au contraire, plus d'avantages.

Conclusions.

Les conclusions à tirer de ce mémoire peuvent se résumer comme il suit :

1. La navigation à vapeur et l'industrie sont intéressées, au plus haut degré, dans la question de la préservation des chaudières contre l'incrustation.

La suppression pure et simple des incrustations économisera, moyennement, environ 40 o/o de la consommation actuelle du combustible.

L'absence d'incrustation permettra de substituer les machines à moyenne ou à haute pression à celles du système de Watt, pour la navigation maritime, et d'économiser, en plus par ce moyen, 50 o/o de combustible. En sorte que l'économie totale à réaliser, dans les machines navales, sera d'environ 66 o/o.

Autres conséquences importantes de l'absence d'incrustations : augmentation de la durée des chaudières; accroissement considérable du *tonnage utile des steamers*; sécurité contre les explosions.

2. Dans les chaudières alimentées à l'eau douce, l'incrustation est produite par le carbonate et par le sulfate de chaux.

Dans les générateurs qui vaporisent de l'eau de mer, l'incrustation est produite par le sulfate de chaux seul.

La solubilité du sulfate de chaux dans les eaux salées conduit à un procédé pour diminuer les incrustations dues à l'eau de la mer : c'est le procédé de l'*évacuation*.

Mais il n'est applicable qu'aux chaudières à basse pression, et encore ne peut-il protéger que la surface de chauffe *indirecte*.

3. Pour empêcher l'incrustation dans les chaudières à moyenne ou à haute pression, il n'y a pas d'autre ressource que d'alimenter avec de l'eau privée de sels calcaires en dissolution.

Il se présente trois moyens de réaliser cette idée, qui sont :

1° L'emploi d'un *condenseur à surface* pour recueillir, à l'état pur, l'eau produite par la condensation de la vapeur à sa sortie du cylindre. C'est l'*alimentation monhydrique*.

Ce moyen paraît inapplicable, à moins de diminuer considérablement l'effet utile du moteur, par suite du retard que la condensation éprouve dans les *condenseurs à surface*.

2° *Condensation monhydrique*. — L'emploi d'une seule et même quantité d'eau, préalablement privée de sels calcaires, pour opérer la condensation dans le condenseur actuellement en usage.

Ce moyen sera appliqué avec avantage pour les machines fixes, dans les localités où l'on pourra se procurer de l'eau froide comme celle que donnerait un puits peu profond.

3° *Alimentation à l'eau surchauffée*. — Purification préalable de l'eau alimentaire par la précipitation des sels de chaux, opérée à l'aide d'une ébullition sous la pression de cinq à six atmosphères.

Ce moyen sera d'un emploi avantageux, principalement pour les steamers fonctionnant à haute pression. Il convient aussi aux bateaux marchant à moyenne pression et aux machines fixes à moyenne ou haute pression, dans les localités mal pourvues d'eau froide. Dans

ces applications le procédé n'exigera d'autre appareil qu'un *surchauffeur* dont le travail viendra en déduction de celui des générateurs.

Le procédé de l'*alimentation à l'eau surchauffée* est le seul applicable aux locomotives, dans l'état actuel du matériel des chemins de fer. Pour cette application, il faut joindre au *surchauffeur* un appareil de filtrage destiné à séparer l'eau d'avec le précipité de sels calcaires.

NOTES.

J'ai cru devoir, dans le cours de ce mémoire, me borner à énoncer les résultats, sans passer par les aperçus scientifiques qui m'y ont conduit, et réserver à ces détails une place spéciale, afin que le lecteur puisse, à son gré, ou les examiner ou les omettre.

NOTE N° 1.

Calcul de la perte de calorique due aux incrustations.

1. Considérons deux chaudières o, o' égales et placées dans les mêmes conditions, sauf cette seule différence que l'une o' est revêtue d'une croûte calcaire, d'épaisseur uniforme sur toute la surface de chauffe à l'intérieur, l'autre o n'ayant aucune incrustation calcaire.

Je suppose qu'elles soient conduites de manière à produire la même quantité de vapeur dans le même temps. Par cette hypothèse, on se place dans la réalité des faits; car, dans une usine, le travail du moteur est fixé, et il faut que la chaudière fournisse la quantité de vapeur voulue pour ce travail; et si, par suite d'incrustation, elle est moins apte à la vaporisation, on y supplée en augmentant l'intensité du feu. Il doit résulter de cet expédient une plus grande perte de chaleur par le tirage de la cheminée et par le rayonnement extérieur du fourneau. C'est cette augmentation de perte qu'il s'agit d'évaluer.

Dans l'impossibilité d'avoir des données précises, je ferai

des hypothèses, se rapprochant le plus possible des faits, mais tendant toutes à diminuer le résultat; de manière à ce que ce résultat soit une évaluation aussi approchée que possible, mais néanmoins inférieure à la perte réelle.

L'accroissement de la perte de chaleur, dû au rayonnement extérieur du fourneau, étant peu considérable, je la négligerai, et je ne m'occuperai que de l'accroissement de perte dû au tirage.

2. Soit P la perte de chaleur par tirage pour la chaudière o, et P' la perte pour la chaudière o'.

Le rapport $\frac{P'}{P}$ sera égal au rapport des quantités de gaz passant, en un temps donné, dans la cheminée, multiplié par le rapport des températures moyennes T et T' de ces mêmes gaz; c'est-à-dire qu'en désignant par ϖ et ϖ' les poids respectifs de ces mêmes quantités de gaz, on aura:

$$\frac{P'}{P}=\frac{\varpi'}{\varpi}\cdot\frac{T'}{T}.$$

Ne connaissant pas ϖ et ϖ', je les supposerai égaux pour le moment, sauf à tenir compte plus tard de leur différence, au moins approximativement. Cette hypothèse conduit à une valeur de $\frac{P'}{P}$ trop faible; car il est évident que ϖ' relatif à la chaudière incrustée, qui consomme plus de combustible que la chaudière non incrustée, est plus grande que ϖ. Soit $\frac{\Pi_o}{P}$ cette valeur trop faible; et posons:

$$\frac{\Pi_o}{P}=\frac{T'}{T},\quad \text{et par conséquent}\quad \frac{P'}{P}=\frac{\Pi_o}{P}\frac{\varpi'}{\varpi}.$$

3. Soit A la moyenne des températures de tous les points de la surface de chauffe extérieure de la chaudière o, et A' la quantité analogue pour la chaudière o'.

Ces quantités AA', températures des corps échauffés, dépendent évidemment des quantités TT', températures des corps échauffants, et on pourra poser:

$$\begin{aligned} T &= mA \\ T' &= m'A' \end{aligned} \quad \text{ou} \quad \frac{\Pi_o}{P}=\frac{m'}{m}\frac{A'}{A}.$$

Ces coefficients mm' sont inconnus et dépendent de diverses circonstances (telles que le rayonnement du foyer, le rayonnement extérieur du fourneau, la disposition des carneaux, la vitesse des gaz dans ces carneaux, la vitesse de transmission du calorique à travers le métal, etc., etc.), lesquelles circonstances sont ou égales pour les deux chaudières, ou variables par le seul effet de l'incrustation plus ou moins épaisse; de telle sorte que toutes ces circonstances seraient les mêmes pour les deux chaudières, si l'incrustation était nulle, et l'on aurait $m = m'$. On pourra donc, en désignant par ε l'épaisseur variable de la croûte uniformément répartie sur la surface, considérer $\frac{m'}{m}$ comme une fonction de ε, et poser $\frac{m'}{m} = f(\varepsilon)$, fonction inconnue, dont on sait seulement que l'on a $f(o) = 1$. On posera donc

$$\frac{\Pi_0}{P} = f(\varepsilon)\,\frac{A'}{A}. \qquad (1)$$

4. Cherchons à déterminer le rapport $\frac{A'}{A}$ par la considération du mouvement de la chaleur à travers les parois des deux chaudières.

Comme on aura besoin du coefficient de conductibilité du métal, lequel coefficient, tel que le donne la physique, se rapporte au métal à surface bien décapée; et que d'un autre côté, dans la pratique, les surfaces des chaudières ne sont jamais nettes, et qu'elles sont recouvertes à l'intérieur d'une couche d'oxyde généralement peu épaisse, mais influant néanmoins sur la conductibilité; nous considérerons une troisième chaudière Ω idéale égale aux deux autres et placée dans les mêmes circonstances, mais complétement décapée; tandis que o et o' sont supposées recouvertes d'une couche d'oxyde d'épaisseur η, et en outre o' aura une croûte calcaire d'épaisseur ε superposée à cette couche d'oxyde.

Soient les points quelconques $MM'\mu$ pris respectivement sur la surface extérieure des trois chaudières (*fig.* 12, Pl. IV).

$a\,a'\,\theta$ la température de l'élément infiniment petit de la surface de chauffe respectivement en chacun de ces points.

QQ'χ la quantité de chaleur qui passe, pendant l'unité de temps, à travers toute la surface de chauffe S dans chacune des chaudières respectivement.

i la température de la surface intérieure au point M_1 de la chaudière o au contact du métal et de la couche d'oxyde.

i' la température au point M'' de la chaudière o' au contact du métal et de la couche d'oxyde.

i'' la température de la couche d'oxyde au point $M'_{''}$ du contact de l'oxyde et de la croûte calcaire.

b la température de l'eau dans chacune des trois chaudières.

K le coefficient de conductibilité du métal.

K' le coefficient de conductibilité de la croûte calcaire.

γ celui de la couche d'oxyde.

e l'épaisseur du métal dans les trois chaudières.

ε l'épaisseur de la voûte calcaire.

η l'épaisseur de la couche d'oxyde.

ds l'élément différentiel de la surface de chauffe S de chaque chendière.

On aura pour les chaudières Ω et o les équations différentielles :

$$d\chi = \mathrm{K}\frac{\theta - b}{e}ds, \qquad dQ = \mathrm{K}\frac{a-i}{e}ds.$$

$\theta a i$ varient avec le point de la surface considéré, et peuvent être regardés comme des fonctions de l'élément s de la surface, pris pour variable indépendante, et compté, à partir d'une origine placée à l'une des extrémités de la surface, de telle sorte que toute la surface de chauffe se trouve comprise en $s = o$ et $s = \mathrm{S}$. On peut donc indiquer l'intégration de ces équations différentielles entre les limites $s = o$ et $s = \mathrm{S}$, et l'on aura :

$$\chi = \frac{\mathrm{K}}{e}\left[\int_0^{\mathrm{S}} \theta\, ds - b\mathrm{S}\right],$$

$$Q = \frac{\mathrm{K}}{e}\left[\int_0^{\mathrm{S}} a\,ds - \int_0^{\mathrm{S}} i\,ds\right]$$

ou

$$\left.\begin{aligned} \frac{\chi}{\mathrm{S}} &= \frac{\mathrm{K}}{e}\left[\frac{\int_0^{\mathrm{S}}\theta\, ds}{\mathrm{S}} - b\right], \\ \frac{Q}{\mathrm{S}} &= \frac{\mathrm{K}}{e}\left[\frac{\int_0^{\mathrm{S}} a\,ds}{\mathrm{S}} - \frac{\int_0^{\mathrm{S}} i\,ds}{\mathrm{S}}\right] \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Les expressions $\frac{\int_0^s \theta ds}{S}$; $\frac{\int_0^s a ds}{S}$; $\frac{\int_0^s i ds}{S}$ sont respectivement la moyenne des températures de tous les éléments de la surface extérieure dans les chaudières Ω et *o*, et de la surface intérieure de la chaudière *o* au contact du métal et de l'oxyde.

Désignant par ΘAI ces moyennes de température, les équations (2) deviennent :

$$\frac{\chi}{S} = \frac{K}{e}(\Theta - b); \qquad \frac{Q}{S} = \frac{K}{e}(A - I). \qquad (3)$$

Lorsque l'équilibre dynamique de chaleur est établi dans la chaudière *o*, la quantité $\frac{Q}{S}$ qui traverse l'unité de surface du métal est égale à la quantité qui traverse la couche d'oxyde sur l'unité de surface, laquelle quantité est évidemment exprimée par $\frac{\gamma}{\eta}(I - b)$. On a donc l'équation :

$$\frac{K}{e}(A - I) = \frac{\gamma}{\eta}(I - b);$$

d'où l'on tire :

$$I = \frac{KA\eta + \gamma b e}{\gamma e + K\eta}.$$

Substituant cette valeur de I dans la deuxième des équations (3), on a :

$$\frac{Q}{S} = \frac{K\eta}{\gamma e + K\eta}(A - b).$$

Et divisant cette équation par la première équation (3), on a :

$$\frac{Q}{\chi} = \frac{A - b}{\Theta - b}\,\frac{1}{1 + \frac{K}{\gamma}\frac{\eta}{e}}. \qquad (4)$$

Pour la chaudière *o'*, on aura une équation analogue à la seconde des équations (3), et qui sera :

$$\frac{Q'}{S} = \frac{K}{e}(A' - I'),$$

à laquelle il faut joindre les deux équations suivantes qui expriment l'état d'équilibre dynamique de la chaleur dans le métal, la couche d'oxyde et la croûte calcaire.

$$\frac{K}{e}(A'-I') = \frac{\gamma}{\eta}(I'-I'')$$

$$\frac{\gamma}{\eta}(I'-I'') = \frac{K}{\varepsilon}(I''-b),$$

A′I′I″ ayant des significations analogues aux quantités A et I, et se rapportant aux points M′M′,M′,, de la chaudière o′.

De ces équations on tire une valeur de I′ indépendante de I″; et en la substituant dans l'équation précédente, on a :

$$\frac{Q'}{S} = (A'-b)\frac{K\gamma K'}{K'\gamma e+KK'\eta+K\gamma\varepsilon}.$$

Et en divisant membre à membre cette équation par la première des équations (3), on a :

$$\frac{Q'}{\chi} = \frac{A'-b}{\theta-b}\,\frac{1}{1+\frac{K}{\gamma}\frac{\eta}{e}+\frac{K}{K'}\frac{\varepsilon}{e}}. \qquad (5)$$

En divisant membre à membre cette équation par l'équation (4), il vient :

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{A'-b}{A-b}\cdot\frac{1+\frac{K}{\gamma}\frac{\eta}{e}}{1+\frac{K}{\gamma}\frac{\eta}{e}+\frac{K}{K'}\frac{\varepsilon}{e}}. \qquad (6)$$

Telle est la relation générale qui existe entre les quantités de chaleur qui traversent dans l'unité de temps les surfaces de chauffe de deux chaudières égales, recouvertes d'une couche d'oxyde, placées dans les mêmes circonstances, sauf que l'une est incrustée, et l'autre non incrustée.

5. Maintenant il faut introduire dans cette équation (6) l'hypothèse du n° 1, exprimant que les quantités de vapeur, produites, dans le même temps, par les deux chaudières, sont égales; il faut donc faire $Q' = Q$, et l'on a :

$$1 = \frac{A' - b}{A - b} \cdot \frac{1 + \frac{K}{\gamma} \frac{\eta}{e}}{1 + \frac{K}{\gamma} \frac{\eta}{e} + \frac{K}{K'} \frac{\varepsilon}{e}},$$

d'où l'on tire :

$$\frac{A'}{A} = 1 + \frac{\frac{K}{K'} \frac{1}{e} \left(1 - \frac{b}{A}\right)}{1 + \frac{K}{\gamma} \frac{\eta}{e}} \varepsilon,$$

ou bien

$$\frac{A'}{A} = 1 + M\varepsilon,$$

en posant :

$$M = \frac{\frac{K}{K'} \frac{1}{e} \left(1 - \frac{b}{A}\right)}{1 + \frac{K}{\gamma} \frac{\eta}{e}}.$$

Substituant cette valeur de $\frac{A'}{A}$ dans l'équation (1), on a :

$$\frac{H_o}{P} = f(\varepsilon)\,[1 + M\varepsilon]. \qquad (7)$$

6. L'équation (7) est de la forme $y = [1 + Mx]\, f(x)$. Si l'on suppose qu'elle est représentée géométriquement par une courbe BA (*fig.* 12, Pl. IV), celle-ci passera en un point B de l'axe des y à une hauteur $OB = 1$; car pour $x = 0$, nous savons qu'on a :

$$y_o = f(o) = 1.$$

Examinons quelques-unes des propriétés de cette courbe déduites de la nature même de la question.

D'abord cette courbe se tiendra toujours, pour des valeurs positives de x, au-dessus de la ligne BX' parallèle à l'axe des x, parce que $\frac{H_o}{P} = \frac{T'}{T} > 1$.

Il est aussi dans la nature de la question que cette courbe n'ait pas de sinuosité, et qu'elle s'élève toujours à partir du point B; car le rapport $\frac{H_o}{P}$ augmentera toujours avec l'é-

paisseur de la croûte, et il pourra arriver, tout au plus, qu'à partir d'une certaine épaisseur de croûte, le rapport $\frac{\Pi_0}{P}$ n'augmente plus, c'est-à-dire que la courbe BA prenne une direction parallèle à l'axe des x à partir d'une certaine valeur de x.

Donc, le coefficient différentiel de cette courbe est toujours positif.

Ce coefficient est

$$\frac{dy}{dx} = \mathrm{M}f(x) + (\mathrm{M}\,x + 1)f'(x);$$

et comme $f(x)$ est positif, que M est aussi toujours positif, parce que $\frac{b}{\mathrm{A}}$ est toujours plus petit que 1, il faut que $f'(x)$ soit aussi toujours positif.

Or le coefficient pour $x = 0$ devient :

$$\frac{dy_0}{dx} = \mathrm{M}f(0) + f'(0) = \mathrm{M} + f'(0).$$

Si l'on négligeait le terme $+ f'(0)$ qui est positif, et que par conséquent l'on fit $\frac{dy_0}{dx} = \mathrm{M}$, on aurait une courbe BC qui, au point B, serait plus inclinée vers BX' que la courbe BA, et dont les coordonnées auraient des valeurs plus petites que les valeurs de $\frac{\Pi_0}{P}$.

Prenons néanmoins cettte courbe BC à la place de BA et nous aurons ainsi pour $\frac{\Pi_0}{P}$ des valeurs moindres que les vraies valeurs.

7. Cette courbe BC, dont nous ne connaissons qu'un point B, et la direction en ce point, ne peut pas être déterminée. Mais, considérant qu'elle est continue et sans sinuosités, et qu'elle peut tout au plus s'infléchir assez pour devenir parallèle à l'axe des x, on peut lui substituer une parabole qui lui serait tangente au point B, et dont l'axe coïnciderait avec l'axe des x. On sera sûr que, dans le voisinage du point B, les ordonnées de cette parabole seront égales à

celles de la courbe BC, et qu'elles en diffèrent peu, soit en plus, soit en moins, pour des points qui ne s'écartent pas beaucoup du point B.

Cette parabole, représentée par BD, sera de la forme $y^2 = px + q$; et, pour déterminer les coefficients, on a :

$$y^2_0 = 1 = q; \quad \frac{dy_0}{dx} = \frac{p}{2y_0} = M \text{ ou } p = 2M,$$

ce qui donne la parabole

$$y^2 = 2Mx + 1, \quad \text{ou } y = \sqrt{1 + 2Mx}.$$

Ainsi, nous prendrons pour $\frac{\Pi_0}{P}$, au lieu des valeurs véritables représentées par les ordonnées de la courbe BA, l'expression suivante, qui, pour des points peu éloignés de B, ou pour des épaisseurs de croûtes peu considérables, donnera des valeurs plus petites :

$$\frac{\Pi_0}{P} = \sqrt{1 + 2M\varepsilon}. \qquad (8)$$

8. Il faut maintenant fixer la valeur de la constante A qui entre dans le coefficient M.

A exprime la température moyenne de la surface de chauffe extérieure de la chaudière non incrustée. Comme on ne peut connaître exactement cette quantité, je lui donnerai une valeur telle qu'il en résulte pour $\frac{\Pi_0}{P}$ des valeurs encore plus inférieures aux valeurs véritables. Or M est d'autant plus petit que A est plus petit. On amoindrira donc les valeurs de $\frac{\Pi_0}{P}$ si l'on donne à A une valeur moindre que sa vraie valeur.

Pour cela, remarquons que lorsqu'un fourneau est dans les meilleures conditions de tirage (et nous supposerons que tel est le cas actuel), les gaz de la combustion entrent dans la cheminée avec une température moyenne de 300° environ Or la température moyenne de la surface de chauffe extérieure est supérieure à celle des gaz; car cette surface reçoit, outre le contact de ces gaz, le rayonnement du

foyer et celui des carneaux. Donc, en supposant $A = 300°$, on fait une supposition qui amoindrit les valeurs de $\frac{\Pi_0}{P}$. On aura ainsi :

$$M = \frac{\frac{k}{k'}\frac{1}{e}\left(1 - \frac{b}{300}\right)}{1 + \frac{k}{\gamma}\frac{\eta}{e}}.$$

9. La quantité b, et par suite M, varie avec la pression, et l'on aura suivant les cas ; savoir :

Pour la basse pression ($1^{atm},25$) :

$$b = 105° \quad \text{et} \quad M = 0,65 \frac{\frac{k}{k'}\frac{1}{e}}{1 + \frac{k}{\gamma}\frac{\eta}{e}};$$

Pour la moyenne pression (3 atm.) :

$$b = 135° \quad \text{et} \quad M = 0,55 \frac{\frac{k}{k'}\frac{1}{e}}{1 + \frac{k}{\gamma}\frac{\eta}{e}};$$

Pour la haute pression (5 atm.) :

$$b = 153° \quad \text{et} \quad M = 0,49 \frac{\frac{k}{k'}\frac{1}{e}}{1 + \frac{k}{\gamma}\frac{\eta}{e}};$$

et l'expression (8) devient :

Basse pression, $$\frac{\Pi_0}{P} = \sqrt{1 + 1,3 \frac{\frac{k}{k'}\frac{1}{e}}{1 + \frac{k}{\gamma}\frac{\eta}{e}}\, t}. \quad (9)$$

Moyenne pression, $$\frac{\Pi_0}{P} = \sqrt{1 + 1,1 \frac{\frac{k}{k'}\frac{1}{e}}{1 + \frac{k}{\gamma}\frac{\eta}{e}}\, t}. \quad (10)$$

Haute pression, $\frac{\Pi_0}{P} = \sqrt{1+0{,}98\frac{k'\frac{1}{e}}{1+\frac{k}{\gamma}\frac{\eta}{e}}\varepsilon}$. (11)

10. Il faut maintenant de $\frac{\Pi_0}{P}$ passer à $\frac{P'}{P}$, ou du moins à une expression qui donne pour $\frac{P'}{P}$ des valeurs plus approchées de la réalité que celles de l'expression (8) ; et cela en tenant compte de la différence des poids ϖ et ϖ' des gaz de la combustion.

Pour un même combustible, le poids des gaz de la combustion est proportionnel à la quantité de combustible brûlé. Soient U et U' les quantités de combustible brûlé dans l'unité de temps pour les deux chaudières *o* et *o'*. On aura $\frac{\varpi'}{\varpi} = \frac{U'}{U}$; et, en remplaçant $\frac{\varpi'}{\varpi}$ par cette valeur dans l'expression de $\frac{P'}{P}$, on aura :

$$\frac{P'}{P} = \frac{\Pi_0}{P} \cdot \frac{U'}{U}. \qquad (12)$$

En supposant que le rayonnement extérieur du fourneau soit le même pour les deux chaudières, ce qui est sensiblement exact, on aura :

$$U' = U + P' - P \quad \text{ou} \quad \frac{U'}{U} = 1 + \frac{P'}{U} - \frac{P}{U}. \qquad (13)$$

Si, au lieu de cette valeur de $\frac{U'}{U}$, nous prenons celle-ci : $\frac{u_0}{U} = 1 + \frac{\Pi_0}{U} - \frac{P}{U}$, dans laquelle $\frac{P'}{U}$ est remplacé par $\frac{\Pi_0}{U}$, qui est plus petit, nous aurons une valeur trop faible ; et, par suite, la nouvelle expression qui en résultera pour $\frac{P'}{P}$ sera trop petite ; désignons-la par $\frac{\Pi_1}{P}$. On aura :

$$\frac{\Pi_1}{P} = \frac{\Pi_0}{P}\left[1 + \frac{\Pi_0}{U} - \frac{P}{U}\right],$$

expression à laquelle il faut joindre celle-ci :

$$\frac{\Pi_0}{P}=\sqrt{1+2M\varepsilon},$$

d'où l'on déduit :

$$\frac{\Pi_0}{U}=\frac{P}{U}\sqrt{1+2M\varepsilon}.$$

Le rapport $\frac{\Pi_1}{P}$ ainsi obtenu sera plus rapproché de $\frac{P'}{P}$ que ne l'est $\frac{\Pi_0}{P}$.

Remarquons d'un autre côté que $\frac{\Pi_1}{U}$ est plus approché de $\frac{P}{U}$ que ne l'est $\frac{\Pi_0}{U}$. Si donc dans l'expression (13) nous remplaçons $\frac{P'}{U}$ par $\frac{\Pi_1}{U}$, nous aurons un autre rapport que nous désignerons par $\frac{u_1}{U}$, toujours inférieur à $\frac{U'}{U}$, mais s'en approchant plus que $\frac{u_0}{U}$; et, en mettant ce rapport à la place de $\frac{U'}{U}$ dans l'expression (12), on aura une nouvelle valeur que nous désignerons par $\frac{\Pi_2}{P}$, plus approchée de $\frac{P'}{P}$ que ne l'est $\frac{\Pi_1}{P}$. On a ainsi :

$$\frac{\Pi_2}{P}=\frac{\Pi_0}{P}\left[1+\frac{\Pi_1}{U}-\frac{P}{U}\right],$$

expression à laquelle il faut joindre celle-ci, dont nous savons former la valeur :

$$\frac{\Pi_1}{P}=\frac{\Pi_0}{P}\left[1+\frac{\Pi_0}{U}-\frac{P}{U}\right],$$

d'où

$$\frac{\Pi_1}{U}=\frac{P}{U}\frac{\Pi_0}{P}\left[1+\frac{\Pi_0}{P}-\frac{P}{U}\right].$$

En continuant ainsi cette méthode d'approximation, on

formera, en les déduisant chacune de la précédente, diverses expressions donnant des valeurs de plus en plus approchées de $\frac{P'}{P}$, eu égard aux poids des gaz de la combustion, mais toujours inférieures à la vraie valeur à cause de l'hypothèse faite sur la courbe BC et sur la valeur de A. Ces expressions ont pour formule générale

$$\frac{\Pi_n}{P}=\frac{\Pi_0}{P}\left[1+\frac{\Pi_{n-1}}{U}-\frac{P}{U}\right], \qquad (14)$$

et on les déduira, chacune de la précédente, successivement en partant de $\frac{\Pi_0}{P}=\sqrt{1+2M\varepsilon}$.

Au moyen de ces deux formules, on formera pour une valeur donnée de ε les valeurs successives et de plus en plus approchées de $\frac{P'}{P}$, que j'ai désignées par $\frac{\Pi_0}{P}\ \frac{\Pi_1}{P}\ \frac{\Pi_2}{P}\ \frac{\Pi_3}{P} \dots \frac{\Pi_n}{P}$, et l'on prendra l'une de ces valeurs pour représenter $\frac{P'}{P}$ suivant le degré d'approximation qu'on désirera.

11. Applications. — 1° *Chaudières à basse pression.*

Soit une chaudière en tôle de fer, d'épaisseur $e=14$ millimètres, maximum des épaisseurs en usage. On a $k=374$. Prenons $k'=23$ coefficient du marbre, quoique supérieur à celui de la croûte calcaire. Prenons aussi $\gamma=23$; et soit $\eta=0,1$ de millimètre.

On a :

$$\frac{\Pi_0}{P}=\sqrt{1+1,353\varepsilon}.$$

Si les conditions de tirage sont bonnes (auquel cas on admet en pratique que l'air qui passe par la grille est brûlé à moitié et que les gaz de la combustion passent dans la cheminée avec une température moyenne de 300°), la perte par tirage $\frac{P}{U}$ pour la chaudière non incrustée est de 0,25, en supposant qu'on brûle de la houille de moyenne qualité.

La formule (14) devient dans ce cas :

$$\frac{\Pi_n}{P} = \sqrt{1+1,353.\varepsilon}\left[0,75 + \frac{\Pi_{n-1}}{U}\right].$$

Faisant successivement $\varepsilon = 1, 2, 3, 4, 5$ millimètres, et déterminant, pour chacune de ces épaisseurs de croûte, les valeurs $\frac{\Pi_0}{P}\ \frac{\Pi_1}{P}\ \frac{\Pi_2}{P} \dots \frac{\Pi_5}{P}$, et prenant cette dernière pour la valeur approchée de $\frac{P'}{P}$, on forme le tableau suivant, dans lequelle la colonne intitulée $\frac{U'-U}{U}$ donne l'accroissement de consommation dû à l'incrustation, rapporté à la consommation actuelle U', et par conséquent l'économie qui serait réalisée par l'absence de toute incrustation :

ε	$\frac{\Pi_0}{P}$	$\frac{\Pi_1}{P}$	$\frac{\Pi_2}{P}$	$\frac{\Pi_3}{P}$	$\frac{\Pi_4}{P}$	$\frac{\Pi_5}{P}$	VALEURS APPROCHÉES DE				
							$\frac{P'}{P}$	$\frac{P'}{U}$	$\frac{P'-P}{U}$ accroissement de consommation dû aux incrustations.	$\frac{U'}{U}$	$\frac{U'-U}{U'}$ économie réalisable par l'absence des incrustations.
mm. 0	1 00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.250	0.000	1.000	0.000
1	1:53	1.73	1.81	1.84	1.85	1.85	1.85	0.462	0.212	1.212	0.175
2	1.93	2.38	2.59	2.69	2.74	2.77	2.77	0.692	0.442	1.442	0.307
3	2.25	2.95	3.34	3.56	3.69	3.76	3.76	0.940	0.690	1.690	0.414
4	2.53	3.49	4.10	4.40	4.73	4.89	4.89	1.222	0.972	1.972	0.492
5	2.78	4.02	4.88	5.47	5.88	6.17	6.17	1.542	1.292	2.292	0.563

Ainsi, pour une épaisseur de croûte $\varepsilon = 1$ millimètre, l'économie réalisable est d'au moins 17,5 p. 100 de la consommation actuelle; et si l'incrustation était de 5 millimètres, l'économie qu'on réaliserait en la supprimant serait d'au moins 56,3 p. 100.

Mais les croûtes n'ont pas la même épaisseur sur tous les points de la surface de chauffe, ainsi que nous l'avons

supposé dans ce calcul : dans les chaudières des six steamers que j'ai visités, j'ai vu constamment des croûtes de 1,5 à 2 millimètres sur la caisse du foyer, et d'une épaisseur croissant jusqu'à 10 et 15 millimètres sur le reste de la surface de chauffe. Et comme ces steamers, appartenant à diverses compagnies, étaient d'ailleurs bien tenus, on doit penser que leurs chaudières n'étaient pas dans un état d'incrustation exceptionnel, et que celles des autres navires sont pour le moins aussi fortement incrustées; en sorte qu'on pourrait admettre en général, comme minimum, une épaisseur de croûte de 1 millimètre sur la surface directe et allant graduellement en augmentant jusqu'à 10 millimètres sur la surface indirecte, ce qui ferait une moyenne minimum de 5 millimètres. Et l'on doit considérer ces épaisseurs de croûte comme permanentes dans les steamers du commerce; parce que les nettoyages, ou ne sont pas faits du tout, ou sont illusoires, les croûtes étant très-adhérentes et leur position d'un difficile accès.

Ainsi on peut prendre, comme moyenne de l'effet de l'incrustation sur les chaudières navales, celui qui se produirait dans une chaudière recouverte d'une croûte d'une épaisseur uniforme de 5 millimètres, lequel effet serait par conséquent une perte de 56,3 p. 100.

Toutefois, à bord des steamers transatlantiques et des steamers de l'État, où l'on fait usage de pompes d'épuisement continu pour les eaux mères, et où les grandes dimensions des chaudières permettent de faire à chaque voyage un nettoyage presque complet à l'aide du marteau, l'effet moyen de l'incrustation ne doit guère dépasser celui qui serait dû à une épaisseur uniforme de croûte de 2 millimètres, soit une perte de 30 p. 100.

En sorte que si l'on voulait indiquer, d'une manière générale et sans distinction de steamer à basse pression, la perte produite par l'incrustation des chaudières navales, on pourrait la porter à environ 40 p. 100 de la consommation actuelle.

Dans les générateurs des machines de terre, alimentées à l'eau douce, les croûtes sont en général moins épaisses, parce que les nettoyages, qui se font ordinairement une fois par mois dans les usines bien conduites, atteignent

toutes les parties de la surface, plus accessibles dans les chaudières à tombeau que dans les chaudières à galeries. Toutefois ces nettoyages sont incomplets, et n'enlèvent que les vases et les croûtes les plus épaisses, en sorte que ces chaudières restent dans un état permanent d'incrustation dont on peut assimiler l'effet à celui produit par une croûte d'une épaisseur uniforme d'au moins 3 millimètres, lequel est une perte de 41,4 p. 100, soit 40 p. 100.

2° *Chaudières à moyenne pression des machines de terre.*

Soit une chaudière tubulaire, dans le système américain, en tôle de fer, marchant à 3 atmosphères. L'épaisseur réglementaire de l'enveloppe sera de 8 à 9 millimètres; celle des bouilleurs et tubes sera moindre ; mais je supposerai une épaisseur uniforme de 8 millimètres, hypothèse qui tend à abaisser l'évaluation de la perte.

On a $$\frac{\Pi_0}{P} = \sqrt{1 + 1,8581.\varepsilon},$$

et l'expression générale (14) devient :

$$\frac{\Pi_n}{P} = \sqrt{1 + 1,8581.\varepsilon}\left[0,75 + \frac{\Pi_{n-1}}{U}\right].$$

Cette expression donnerait lieu à un tableau analogue au précédent, et dont voici les résultats essentiels :

Valeurs de ε =	0	1	2	3	4	5
Valeurs de $\frac{U'-U}{U'}$ =	0,000	0,229	0,384	0,501	0,594	0,671

Il convient d'appliquer à ces générateurs la perte correspondante à une épaisseur uniforme de 3 millimètres, et qui est de 50,1 p. 100, soit 50 p. 100.

3° *Chaudières à haute pression* (5 *atmosph.*) *des machines de terre.*

Soit une chaudière en fer, cylindrique, de 1 mètre de diamètre, marchant et timbrée à 5 atmosphères. L'épaisseur réglementaire du corps de la chaudière est de 10 millimètres. Supposons que les bouilleurs aient cette même épaisseur, quoiqu'elle soit moindre en général, et prenons

les autres données comme dans les applications précédentes ; on a :

$$\frac{\Pi_o}{P} = \sqrt{1+1,3707.\varepsilon} \text{ et } \frac{\Pi_n}{P} = \sqrt{1+1,3707\varepsilon}\left[0,75+\frac{\Pi_{n-1}}{U}\right],$$

d'où l'on déduit :

Valeurs de $\varepsilon =$ 0 1 2 3 4 5

Valeurs de $\frac{U'-U}{U'} =$ 0,000 0,178 0,306 0,409 0,499 0,568.

Ici encore l'incrustation pouvant être assimilée, quant à l'effet moyen, à celle consistant en une croûte d'épaisseur uniforme de 3 millimètres, la perte sera 40,9 p. 100, soit 40 p. 100.

4° Chaudières des locomotives.

Dans ces chaudières, la température moyenne de la surface de chauffe, désignée par A, est plus élevée que dans les autres générateurs. D'un autre côté, les gaz de la combustion, ayant peu de distance à parcourir pour arriver à la cheminée, et y étant portés par un fort tirage, restent peu de temps en contact avec la surface de chauffe.

Ils doivent s'échapper dans l'atmosphère avec une température plus élevée que 300°. Cherchons à évaluer approximativement cette température.

Nous avons dit que dans un fourneau de machine fixe les gaz de la combustion entrent dans la cheminée à 300°, et qu'alors la perte de combustible est de 0,25 lorsqu'il s'agit de houille de moyenne qualité. Dans une locomotive brûlant du coke, cette perte est plus forte; car 1 kilogramme de coke, représentant 6000 calories, ne vaporise que 6 kilogrammes d'eau à 10° de température initiale, et n'utilise par conséquent que 3840 calories ; la perte est donc

$$\frac{6000 - 3840}{6000} = 0,36.$$

Si le coke et la houille produisaient dans leur combustion la même quantité et la même espèce de gaz, il est évident que les températures moyennes de ces gaz, T_x pour

le coke et T_h pour la houille, seraient proportionnelles aux pertes 0,36 et 0,25, et on aurait :

$$\frac{T_k}{T_h} = \frac{0,36}{0,25} = 1,44.$$

Or la houille exige plus d'air que le coke; en outre, elle produit de la vapeur d'eau, tandis que le coke n'en produit point; et cette vapeur d'eau diminue la chaleur sensible par sa capacité calorifique, plus grande que celle des gaz produits par le coke; d'où il suit qu'on a en réalité :

$$\frac{T_k}{T_h} > 1,44.$$

Si donc on suppose $\frac{T_k}{T_h} = 1,44$ ou $T_k = 432°$, et qu'on la prenne pour exprimer la température moyenne A de la surface de chauffe extérieure, on fait une hypothèse qui diminue la valeur de $\frac{\Pi_o}{P}$. Faisons donc $A = 430°$.

Soit une chaudière fonctionnant à 5 atmosphères. La température de l'eau sera $b = 153°$. La chaudière étant en cuivre rouge ou jaune, on a $K = 900$. Faisons toujours $K' = \gamma = 23$ et $\eta = 0,1$ millim. L'épaisseur e varie beaucoup selon les points de la surface de chauffe : elle est de 24 millimètres pour la boîte à feu et de 2 millimètres pour les tubes; nous prendrons pour e la moyenne de ces épaisseurs, en tenant compte du rapport des surfaces de la boîte à feu et des tubes; ces surfaces étant dans le rapport de 1, pour la boîte à feu, à 10 pour les tubes, on prendra :

$$e = 24 \times \frac{1}{10} + 2 \times \frac{9}{10} = 4,2;\ \text{soit}\ e = 5\ \text{millimètres.}$$

L'expression générale (14) devient ici :

$$\frac{\Pi_n}{P} = \sqrt{1 + 4,3025 \,.\, \varepsilon}\left[1 + \frac{\Pi_{n-1}}{U} - \frac{P}{U}\right],$$

dans laquelle il faut faire :

$$\frac{P}{U} = 0,36;$$

ce qui donne :

$$\frac{\Pi_n}{P} = \sqrt{1 + 4,3025 . \varepsilon}\left[0,64 + \frac{\Pi_{n-1}}{U}\right].$$

Quant aux valeurs de ε, qu'il convient de considérer, il faut remarquer que, à cause de la haute température du foyer, de la faible épaisseur du métal des tubes, et des fréquentes variations dans l'intensité du feu occasionnées par le travail variable lui-même, suivant la vitesse ou les pentes à gravir, les dilatations et contractions du métal sont fortes et fréquentes; ces mouvements du métal détachent les croûtes ; et on peut admettre qu'en général les croûtes ne dépassent pas l'épaisseur de 1 millimètre, et que, pendant la marche, la surface est toujours incrustée en certains endroits, et non incrustée dans d'autres. Nous formerons donc les valeurs $\frac{\Pi_2}{P}\,\frac{\Pi_1}{P}\,\ldots\,\frac{\Pi_4}{P}\,\frac{\Pi_5}{P}$ pour les valeurs de ε, croissant par $\frac{1}{10}$ depuis 0,1 jusqu'à 1 millimètre, et nous prendrons la moyenne des valeurs correspondantes de $\frac{U'-U}{U'}$ pour exprimer l'*effet moyen de l'incrustation*.

En faisant ces calculs, on trouve les valeurs ci-après :

Valeurs de :

$\varepsilon =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Valeurs de :

$\frac{U'-U}{U'} =$	0,103	0,194	0,280	0,358	0,384	0,475	0,524	0,571	0,611	0,647.

La moyenne de ces dix valeurs de $\frac{U'-U}{U'}$ est de 0,414.

Ainsi la perte de combustible, due à l'incrustation dans une chaudière de locomotive, peut être évaluée en moyenne à au moins 40 p. 100 de la consommation actuelle.

NOTE N° 2.

Formation des dépôts dans les chaudières navales.

1. En faisant évaporer de l'eau de l'Océan ou de la Méditerranée dans un ballon de verre par ébullition, sous la pression atmosphérique, j'ai observé les faits suivants :

1° Dès le commencement de l'ébullition, il y a dégagement d'acide carbonique.

2° Le liquide reste limpide pendant quelque temps : lorsqu'il est réduit d'environ $\frac{1}{5}$ de son volume, il devient opalin, et l'on distingue des flocons très-légers de magnésie.

3° Lorsque le volume du liquide est réduit au $\frac{1}{3}$ environ, on reconnaît l'acide carbonique dans le précipité floconneux; il s'y trouve combiné avec la magnésie seule et à l'état de carbonate sesquibasique : il n'y existe point de carbonate de chaux.

4° Lorsque le liquide est réduit au $\frac{1}{4}$ environ de son volume, et marque de 12 à 13° de l'aréomètre de Baumé, il se forme un dépôt blanc cristallin, adhérent aux parois du ballon. Ce dépôt est du *sulfate de chaux*, mêlé d'une petite quantité de sous-carbonate de magnésie, de magnésie libre et quelquefois d'un peu d'oxychlorure de magnésium.

5° L'ébullition continuant, la croûte blanche se développe.

6° Pendant toute la durée de l'ébullition, même lorsqu'on la pousse jusqu'à ce que le sel marin se dépose, il y a dégagement d'acide carbonique; et l'on remarque que le liquide, d'abord limpide, puis opalin, puis laiteux, s'éclaircit lentement, et tend à reprendre sa limpidité primitive.

2. Tous ces faits s'expliquent par les considérations suivantes, tirées de la composition de l'eau de mer, et eu égard aux lois de la stabilité chimique.

On sait que cette composition, à peu près uniforme pour le Grand-Océan et la Méditerranée, et probablement aussi pour les autres régions maritimes, au moins en ce qui concerne la nature des sels dissous, consiste qualitativement en

Chlorures de sodium, magnésium, potassium, calcium;
Sulfates de magnésie, de chaux;
Carbonates de magnésie, de chaux;
Bromures, iodures alcalins;
Traces de métaux, etc.

On sait, en outre, que les sels magnésiens de chaque

acide figurent dans cette composition en plus grande proportion que les sels calcaires correspondants.

Si donc on fait bouillir une pareille dissolution saline, voici ce qui doit arriver :

1° A la première ébullition, dégagement de l'air et de l'acide carbonique simplement dissous. Puis, dégagement de la partie de cet acide, qui retient le carbonate de chaux en dissolution, et tendance de ce sel à se précipiter.

2° Mais en présence du chlorure de magnésium, qui, par l'ébullition, tend à abandonner de l'acide, le carbonate de chaux passera à l'état de chlorure de calcium, il se formera de la magnésie libre, et il se dégagera de l'acide carbonique.

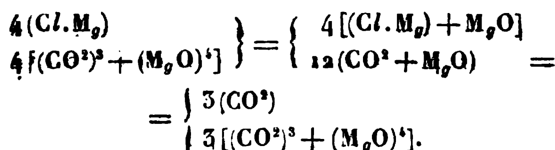
Cette réaction se vérifie très-nettement *à posteriori* : quand on fait bouillir une dissolution, même très-étendue, de chlorure de magnésium avec de la craie concassée, il se dégage de l'acide carbonique en abondance, et on voit dans le liquide des flocons opalins de magnésie.

3° De son côté, le carbonate neutre de magnésie, quoique plus stable dans l'eau salée que dans l'eau pure, a cependant une tendance à abandonner de l'acide et à se déposer à l'état de carbonate sesquibasique; et cette décomposition, qui n'a pas lieu dès le commencement de l'ébullition, se fera lorsque, par la concentration, la température d'ébullition se sera élevée suffisamment. Dès lors, le dégagement d'acide carbonique, commencé par la décomposition du carbonate de chaux, continuera en vertu de celle du carbonate de magnésie.

4° Le sous-carbonate de magnésie ainsi formé réagit à son tour sur le chlorure de magnésium, en lui cédant de la magnésie pour former de l'oxychlorure, et passant lui-même à l'état de carbonate neutre pour se décomposer de nouveau et immédiatement en acide carbonique et en une moindre quantité de sous-carbonate.

Cette réaction se vérifie encore très-nettement : si l'on fait bouillir une dissolution de chlorure de magnésium, à laquelle on ajoute du sous-carbonate de magnésie, il se forme un dégagement très-abondant d'acide carbonique. On peut concevoir que l'action se passe entre quatre équivalents de chlorure de magnésium et quatre équivalents de

sous-carbonate; il se produira quatre équivalents d'oxychlorure de magnésium, trois équivalents d'acide carbonique et trois équivalents de sous-carbonate, comme il suit :



$$\left.\begin{matrix}4(Cl.M_g)\\4[(CO^2)^3+(M_gO)^4]\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}4[(Cl.M_g)+M_gO]\\12(CO^2+M_gO)\end{matrix}\right.=$$

$$=\left\{\begin{matrix}3(CO^2)\\3[(CO^2)^3+(M_gO)^4].\end{matrix}\right.$$

Cette réaction continuera jusqu'à épuisement de sous-carbonate, le chlorure de magnésium étant en assez grande quantité pour cela. La magnésie libre participera aussi à cette réaction, et sera absorbée par le chlorure de magnésium, et peut-être aussi par le sulfate de magnésie. En sorte que le liquide aura une tendance à perdre son aspect laiteux, qui était dû à la magnésie et au sous-carbonate.

5° Une fois le carbonate de chaux transformé en chlorure, la chaux n'existera plus qu'à l'état de sel soluble : chlorure et sulfate. Mais comme le premier de ces sels est plus soluble que le second, et qu'il se trouve en présence du sulfate de magnésie, plus soluble aussi que le sulfate calcaire, il en résulte que lorsque l'eau sera parvenue au point de saturation, relativement au sulfate de chaux, il y aura précipité, non-seulement du sulfate de chaux préexistant, mais encore de celui que produira la réaction entre le chlorure de calcium et le sulfate de magnésie.

Ainsi, dans l'acte de l'incrustation, les sels calcaires se réduisent tous en sulfate, et l'on peut, au point de vue particulier de l'incrustation produite par l'eau de mer, considérer toute la chaux préexistant dans cette eau comme à l'état de sulfate.

Il résulte aussi de ce qui précède que le carbonate de chaux, bien que préexistant dans l'eau de mer, ne peut pas se trouver dans les dépôts qu'elle forme dans les chaudières.

Formation des dépôts dans les chaudières alimentées à l'eau douce.

1. Les eaux douces ont une composition très-variable, suivant les terrains qu'elles traversent. Elles contiennent

toutes du bicarbonate de chaux; la plupart renferment aussi du sulfate de chaux en proportion plus ou moins considérable, et ces deux corps forment en général la partie principale des sels tenus en dissolution par les eaux douces; car les chlorures de sodium, potassium, calcium, magnésium, les sulfates de magnésie de potasse, qu'elles renferment aussi généralement, ne s'y trouvent qu'en très-faible proportion.

Dans l'incrustation produite par les eaux douces, il se passe les mêmes réactions que nous avons décrites plus haut entre les sels calcaires et les sels magnésiens; mais comme ceux-ci sont en très petite quantité relativement aux premiers, ces réactions n'exercent pas d'influence sensible sur le résultat, et l'on peut considérer l'incrustation comme due uniquement aux bicarbonate et sulfate de chaux.

2. Dès les premiers moments de l'ébullition, le bicarbonate de chaux dégage de l'acide carbonique et se précipite, à l'état de carbonate neutre, en une poudre très-fine et très-légère qui devient plus lourde et se rassemble par une ébullition plus prolongée. Ce précipité, étant très-ténu, pourra se loger en partie dans les aspérités que présente la surface d'un vase en fer, mais ne s'y accumulera point par voie de cristallisation, et ne formera point par conséquent de croûte.

Mais le carbonate de chaux neutre n'est pas tout à fait insoluble dans l'eau : la quantité qu'elle retient en dissolution est, d'après Buchloz, de $\frac{1}{24000}$ à $\frac{1}{16000}$. C'est cette partie du carbonate de chaux qui, par l'effet de la vaporisation, se dépose lentement en cristallisant et forme incrustation. Toutefois, dans les chaudières où la vaporisation est très-tranquille et lente, et où l'eau arrive par des conduits chauffés graduellement, le carbonate produit par le dégagement de l'acide carbonique cristallise en partie dans ces conduits et dans les endroits calmes de la surface de chauffe, et y forme d'abondantes concrétions.

Quant au sulfate de chaux, il se dépose par cristallisation et en formant des croûtes, dès le moment où, par la concentration, l'eau est parvenue à saturation par rapport à ce sel. On conçoit que si l'ébullition est tumultueuse, une

partie de ce sel se déposera en petits cristaux désagrégés.

La cristallisation du carbonate et du sulfate calcaires ont donc lieu simultanément à partir du moment de la saturation de ce dernier, et ces deux sels concourent à la formation des croûtes, le premier dans une proportion constante (puisque l'eau douce, à l'ébullition, peut être considérée comme toujours saturée de carbonate neutre), et le second dans une proportion variable, suivant la richesse de l'eau en sulfate.

NOTE N° 3.

Solubilité des sulfate et carbonate de chaux dans les eaux en ébullition sous différentes pressions.

En général, les sels sont plus solubles à chaud qu'à froid dans certaines limites de température. Certains sels calcaires, ou du moins les sulfate et carbonate, sont au nombre des exceptions à cette règle. J'ai observé, en effet, à l'égard du sulfate, que lorsque, par l'ébullition à l'air libre, soit d'eau de mer, soit d'eau de puits, on a déterminé un commencement de précipité de sulfate de chaux, celui-ci se redissout tout à fait par le refroidissement.

Or, comme l'incrustation est l'effet de la cristallisation du sulfate et de carbonate de chaux, il était essentiel d'étudier les modifications que peut éprouver la solubilité de ces sels dans des eaux bouillant sous diverses pressions ou à diverses températures.

1. *Solubilité du sulfate de chaux dans l'eau de mer.*

1° J'ai commencé par déterminer les proportions de sulfate de chaux contenues dans l'eau de mer, amenée, à divers degrés de concentration, soit par l'ébullition à l'air libre pour les degrés supérieurs, soit par l'addition d'eau distillée pour les degrés inférieurs à la densité naturelle. (D'après la remarque contenue dans la note n° 2, je considère toute la chaux comme existant à l'état de sulfate dans l'eau de mer.)

Le tableau A ci-après indique ces proportions correspondantes à des degrés de Beaumé, depuis 0° jusqu'à 12°,5,

point de saturation pour l'ébullition sous la pression atmosphérique, et s'applique également à l'eau de l'Océan et à celle de la Méditerranée prises sur nos côtes. (L'aréomètre de Beaumé était observé à 15° de température.)

TABLEAU A.

CONCENTRATION en degrés de Beaumé.	PROPORTIONS de sulfate de chaux. — Sur 100 d'eau.	CONCENTRATION en degrés de Beaumé.	PROPORTIONS de sulfate de chaux. — Sur 100 d'eau.
degrés.		degrés.	
0	0,000	7	0,267
1	0,023	8	0,310
2	0,060	9	0,355
3	0,097	10	0,395
4	0,140	11	0,432
5	0,183	12	0,477
6	0,226	12,5	0,500

2° J'ai déterminé ensuite le degré de température auquel bout, à l'air libre, l'eau concentrée à 12°,5 de l'aréomètre, qui est le point de saturation : j'ai trouvé 103° de température.

Puis, pour diverses températures comprises entre 103 et 130°, j'ai déterminé le degré de concentration auquel l'eau se trouve à saturation de sulfate de chaux, et le tableau A ci-dessus m'a donné la solubilité correspondante.

A cet effet, j'ai pris des échantillons de ces eaux, amenées à divers degrés de concentration. J'ai introduit une petite quantité de chacun d'eux dans des tubes de $0^m,1$ de long, de 0,01 de diamètre et de 0,001 d'épaisseur, effilés par un bout et fermés ensuite à la lampe. J'ai placé dans un bain d'huile, chauffé à la température expérimentée, cinq ou six de ces tubes marquant des concentrations consécutives. Et, au bout de 1 heure 1/2 de chauffage à cette température constante, je notais ceux de ces tubes qui contenaient un dépôt de sulfate de chaux. Le degré de concentration auquel la saturation a lieu pour cette température, étant compris entre celui des tubes contenant du dépôt, qui marquait le degré le plus bas, et celui des tubes ne conte-

nant point de dépôt, qui marquait le degré le plus haut, je recommençais l'opération pour une eau de degré intermédiaire. Et je parvenais ainsi à déterminer le degré de concentration, auquel le liquide arrive à saturation pour la température de l'expérience.

J'ai trouvé ainsi :

Températures	103°	111°	119°	125°	130°
Degrés de concentration auxquels la saturation a lieu.	12°,5	9°	5°,8	3°,75	2°

Ces résultats permettent de construire la courbe qui représente graphiquement la relation existante entre les températures, comptées à partir de 103° et considérées comme abscisses, et les degrés de concentration considérés comme ordonnées comptées à partir de 0.

Cette courbe forme, à peu près, une ligne droite : ce qui prouve que, comme les pressions croissent très-rapidement avec la température, la solubilité du sulfate décroît très-rapidement à mesure que la pression augmente.

En combinant les résultats indiqués par cette courbe avec ceux du tableau A, on connaîtra la solubilité correspondante aux diverses températures. Par ce moyen, on a pu construire le tableau ci-après :

TABLEAU B. — *Solubilité du sulfate de chaux dans l'eau de mer à diverses températures.*

DEGRÉS de l'aréomètre correspondants à la saturation.	TEMPÉRATURES	SOLUBILITÉ du sulfate de chaux sur 100.	DEGRÉS de l'aréomètre correspondants à la saturation.	TEMPÉRATURES	SOLUBILITÉ du sulfate de chaux. sur 100.
degrés.	degrés.		degrés.	degrés.	
12,5	103,00	0,500	6	118,50	0,226
12	103,80	0,477	5	121,20	0,183
11	105,15	0,432	4	124,00	0,140
10	108,60	0,395	3	127,90	0,097
9	111,00	0,355	2	130,00	0,060
8	113,20	0,310	1	133,30	0,023
7	115,80	0,267			

3° On voit qu'à partir de 130° de température, la solubilité du sulfate de chaux devient très-faible. Il importait, pour la question qui nous occupe, de s'assurer si, pour une certaine température, cette solubilité devient nulle, et de déterminer ce degré, ou du moins une limite supérieure de ce degré.

Pour éclaircir ce point, j'ai pris 100 centimètres cubes d'eau distillée que j'ai additionnés de deux gouttes d'eau de mer naturelle à 4°,25; chaque goutte formant 0,068 de cent. cubes, et les deux gouttes contenant par conséquent $2 \times 0{,}068 \times 0{,}0015 = 0^{gr}{,}0002$ de sulfate de chaux. Le mélange renfermait donc 0,000002 de ce sel. J'ai ensuite exposé à une température de 140° un tube de verre fermé contenant un peu de cette eau. Au bout de quinze minutes, j'ai examiné le tube en le plaçant entre l'œil et les rayons solaires, et j'ai constaté un dépôt, sous forme de pellicules infiniment déliées, irisées, nageant dans le liquide. Ces pellicules ne sont autre chose que du sulfate de chaux déposé sur la paroi, et détaché ensuite par les contractions du verre au contact de l'air froid.

J'ai fait une opération semblable avec un mélange de 100 cent. cubes d'eau distillée et de deux gouttes d'un autre mélange contenant $\frac{1}{40}$ d'eau de mer. Le mélange définitif contenait par conséquent une proportion de sulfate de chaux exprimée par

$$\frac{0{,}068 \times \frac{2}{40} \times 0{,}0015}{100} = 0{,}00000005.$$

Au bout de 30 minutes, j'ai reconnu la présence de petites pellicules comme dans l'expérience précédente.

On peut donc considérer le sulfate de chaux comme totalement insoluble dans l'eau de mer, et *à fortiori* dans l'eau douce, à des températures entre 140 et 150°. Et ce fait est encore confirmé par un autre relaté plus bas.

Il est utile de remarquer que les dépôts de sulfate, obtenus dans ces expériences, se dissolvent par le refroidissement, mais avec d'autant plus de lenteur que la température à laquelle ils se sont formés est plus élevée. Ainsi, le

précipité obtenu à 150° met cinq à six jours pour se redissoudre complétement (*).

2. *Solubilité du sulfate de chaux dans les eaux douces.*

Ce que nous avons dit de la solubilité du sulfate de chaux dans l'eau de mer, aux températures supérieures à 130°, s'applique évidemment aussi aux eaux douces, et cela nous suffit pour la solution de la question qui nous occupe.

3. *Solubilité du carbonate de chaux dans les eaux douces.*

La solubilité du carbonate de chaux, de beaucoup inférieure à celle du sulfate pour des températures peu supérieures à 100°, décroît moins vite que celle-ci à mesure que la température augmente; et il arrive un moment où le sulfate de chaux devient moins soluble que le carbonate. En effet, si l'on met dans un tube de verre, qu'on ferme ensuite à la lampe, du carbonate de chaux récemment précipité et une dissolution de sulfate d'ammoniaque ou de soude, ou de potasse ou de magnésie, et qu'on chauffe graduellement jusqu'à 130 ou 140°, il se forme des cristaux de sulfate de chaux qui tapissent les parois du tube, et l'eau devient alcaline.

Toutefois, de même que le sulfate de chaux, le carbonate devient de moins en moins soluble à mesure que la température s'élève; et à 150°, on peut considérer cette solubilité comme nulle. En effet, si l'on expose pendant quelque temps à cette température de l'eau tenant du carbonate neutre en dissolution, il se forme un précipité nuageux; et si, immédiatement après le refroidissement du liquide, on le filtre, et qu'on y verse de l'oxalate d'ammoniaque, on n'y aperçoit aucun trouble, même après un laps de temps de plusieurs jours : ce qui prouve que le carbonate de chaux est devenu au moins aussi insoluble que l'oxalate calcaire.

Ce fait, joint à celui que nous venons de relater sur la

(*) Il semble permis de conclure de ces faits que l'insolubilité du sulfate de chaux à une température élevée est l'effet d'une déshydratation complète de ce sel; et cette circonstance conduirait à une explication très-plausible de la formation géologique de l'*anhydrite*.

réaction entre le carbonate de chaux et les sulfates alcalins, confirme l'insolubilité totale du sulfate de chaux que nous avions prouvée directement plus haut.

Ce fait prouve aussi un autre point important : c'est que non-seulement le carbonate de chaux est précipité entièrement par une température de 150°, mais encore que ce précipité, ou reste insoluble dans l'eau refroidie (à l'abri de l'acide carbonique), ou ne s'y redissout que très-lentement.

NOTE N° 4.

*Essais du procédé de l'*évacuation.

Pour reconnaître le degré d'efficacité dont le procédé de l'*évacuation* est susceptible, comme préservatif contre l'incrustation dans les chaudières à basse pression, je l'ai soumis aux expériences ci-après (*fig.* 14, Pl. IV):

Une chaudière A cylindrique, en tôle de fer, d'environ 50 litres de capacité, a été établie sur un fourneau, à peu près dans les mêmes conditions qu'un générateur de machine fixe : elle présentait une surface de chauffe *directe* (ou exposée directement au rayonnement du foyer et au contact de la flamme) sur la moitié de sa longueur, et une surface de chauffe *indirecte* (ou exposée au seul contact des gaz de la combustion) sur l'autre moitié de la longueur. Les gaz brûlés et la fumée entraient dans le carneau C, circulaient autour de l'arrière de la chaudière et revenaient sur les flancs par le carneau C', d'où ils passaient dans la cheminée B.

Le feu fait avec du charbon de Mons était poussé à peu près comme dans un fourneau ordinaire de machine à vapeur, et le robinet R de dégagement était ouvert de manière à ce que la pression ne dépassât point la pression atmosphérique de $\frac{1}{2}$ mètre d'eau ou $\frac{1}{20}$ d'atmosphère.

On a évaporé de l'eau de l'Océan marquant 3°,5 de Beaumé. L'eau alimentaire était introduite par une pompe à plongeur, manœuvrée par un homme, au fur et à mesure des besoins. L'évacuation devait être faite par une

autre pompe à plongeur dont le mouvement, lié à celui de la pompe alimentaire, était réglé par un *temps perdu*, de manière à obtenir une évacuation dans la proportion voulue relativement à l'alimentation.

Bien qu'à peu près convaincu que cette disposition ne donnerait pas une évacuation suffisamment régulière et précise, je voulus d'abord en essayer, afin de savoir avec certitude à quoi m'en tenir sur la marche des pompes d'*épuisement d'eaux mères*, employées à bord des steamers transatlantiques et de la flotte de l'État. L'expérience a pleinement confirmé ces prévisions : quoique l'eau alimentaire fût limpide et que la chaudière eût été décapée aussi bien que possible, l'eau fut bientôt troublée par un précipité brun formé d'oxyde de fer et de magnésie, lequel obstruait à chaque instant la soupape et l'empêchait de retomber exactement sur son siége : l'aspiration de la pompe était très-irrégulière, et souvent elle ne se faisait pas du tout. Je fus donc obligé de renoncer à l'emploi de la pompe, et l'évacuation fut faite au moyen d'un robinet manœuvré à la main par intermittences espacées d'environ dix minutes. Chaque évacuation était suivie immédiatement d'une alimentation dans la proportion voulue, et chaque fois on reconnaissait la densité de l'eau évacuée, pour s'assurer que le degré de concentration qu'on s'était proposé pour limite n'était point dépassé.

1re *Expérience*. Dans cette expérience, l'évacuation a été constamment de $\frac{1}{3}$ de l'alimentation ; et comme elle avait pour but de maintenir la densité au-dessous de 11° de Beaumé, on n'a commencé à évacuer que lorsque l'eau a eu atteint 9°.

L'opération a duré cinq jours de cinq heures de marche chaque. On a évaporé en tout 200 litres, soit à raison de 8 litres par heure ; et comme la surface de chauffe était de $0^{mq},31$, l'évaporation a été de 25 litres par mètre quarré; vitesse de vaporisation ordinaire des générateurs.

Le résultat de cette expérience a été une incrustation notable de la surface de chauffe directe : la croûte avait $1^{mm},5$ à l'endroit le plus épais ; elle couvrait le fond de la chaudière dans l'étendue de l'arc *ab*, un peu plus long en

projection horizontale que la largeur de la grille; elle était limitée par deux lignes coïncidant à peu près avec les génératrices passant aux points *a* et *b*; seulement, vers l'embouchure du carneau C, la croûte se relevait vers la génératrice *a'*, suivant ainsi, pour ainsi dire, les mouvements de la flamme. Les autres parties de la surface *indirecte* étaient sans incrustation et entièrement nettes.

2[e] *Expérience.* On a fait une autre expérience dans les conditions ci-dessus, avec cette seule différence que l'évacuation était de $\frac{1}{2}$ au lieu de $\frac{1}{3}$ relativement à l'alimentation. En sorte que, pendant toute l'opération, l'eau a été maintenue au-dessous de 8° de concentration. On a évaporé 200 litres dans l'espace de vingt-cinq heures, et en suivant à peu près la même vitesse de vaporisation de 8 litres par heure.

Le résultat a été à peu près le même que dans la première expérience.

Il faut conclure de ces résultats que le procédé de l'*évacuation* est d'une efficacité incomplète : il peut empêcher l'incrustation de la surface de chauffe *indirecte*, mais il est impuissant pour protéger la surface de chauffe *directe*.

NOTE N° 5.

Perte de force motrice par suite de la résistance du condenseur.

Considérons un condenseur, d'un système quelconque, dans lequel la destruction de la vapeur n'est pas subite, et éprouve un certain retard correspondant à une fraction de la course du piston. Ainsi L étant la longueur de la course, nL exprimera le retard qu'éprouve la destruction complète de la vapeur à chaque coup simple de piston, ou la portion de course pendant laquelle la condensation s'opère. Et pour passer de ce cas général à celui du *condenseur ordinaire*, où la condensation est à très-peu près subite, il n'y aura qu'à faire $n=0$ dans les formules.

Soit T_u la partie du travail moteur utilisée.

T_r le travail résistant du condenseur, supposé d'un système quelconque (*).

Π la pression de la vapeur avant la détente.

P la pression de la vapeur à la fin de la détente, ou à la fin de la course du piston, ou au moment où la vapeur, qui est actuellement dans le cylindre, va commencer à se condenser.

p la pression normale dans le condenseur, c'est-à-dire celle qui subsiste après la condensation, et qui est due uniquement à la température de l'eau condensée.

L la longueur de la course du piston.

E la partie de cette course, qui s'accomplit sous la pression Π sans détente.

nL la fraction de course pendant laquelle la condensation s'opère, et après laquelle le condenseur a pris la pression normale p.

m le rapport obtenu en divisant la somme des capacités du cylindre et de la partie vide du condenseur par la capacité du cylindre ; c'est-à-dire $\frac{\text{cylindre} + \text{condenseur}}{\text{cylindre}} = m$. En sorte que la pression initiale de la vapeur, au moment où elle entre dans le condenseur, sera, en raison inverse des volumes, $\frac{P}{m}$ en négligeant la pression p par rapport à P.

Pendant la période nL de la course, la pression dans le condenseur diminue graduellement depuis $\frac{P}{m}$ jusqu'à p; et pendant la période $(1-n)$L, la pression reste constante et égale à p. Prenons la *fig.* 15, Pl. IV.

Si l'on représente L par aa'', nL par aa', $(1-n)$L sera représenté par $a'a''$. Et si l'on prend l'ordonnée $aA = \frac{P}{m}$, et les ordonnées $a'B$, $a''C$ égales à p ; les pressions suc-

(*) On ne considère ici que la résistance due à la pression, et l'on fait abstraction des frottements de la pompe à eau et à air.

cessives par lesquelles passera le condenseur seront représentées par les ordonnées d'une certaine ligne qui sera droite de B en C, et courbe de B en A, mais qui sera tangente en B à la portion BC.

Le travail T_r du condenseur sera exprimé par la surface S du piston, multipliée par l'aire de la courbe ABC; car cette aire exprime la somme des produits élémentaires de la pression par l'espace élémentaire parcouru.

L'aire $a'BCa''$ est égale à $(1-n)L \cdot p$. Pour déterminer l'aire $aABa'$, il faudrait connaître la courbe AB. Dans un cas particulier, on pourrait la déterminer expérimentalement à l'aide de l'indicateur de Watt; mais, dans cette analyse générale, nous remplacerons cette courbe par une parabole qui aurait son sommet en B, passerait au point A, et dont l'axe serait par conséquent parallèle à l'axe des Y; et cette parabole différera généralement peu de la vraie courbe.

Cette parabole sera de la forme $y=\alpha x^2+\tau x+\gamma$, et pour déterminer les coefficients, on aura les équations suivantes :

$$y_0=\gamma$$
$$y_{aa'}=\alpha n^2L^2+\tau nL+\gamma=p$$
$$\frac{dy_{aa'}}{dx}=2\alpha nL+\tau=0,$$

d'où l'on tire :

$$\alpha=\frac{\frac{P}{m}-p}{n^2L^2},\quad \tau=-2\,\frac{\frac{P}{m}-p}{nL},\quad \gamma=\frac{P}{m},$$

et l'équation de la courbe devient :

$$y=\frac{\frac{P}{m}-p}{n^2L^2}x^2-2\,\frac{\frac{P}{m}-p}{nL}x+\frac{P}{m},$$

et pour l'aire $aABa'$, on aura :

$$\int_0^{nL} ydx=\frac{n}{3}L\left(\frac{P}{m}+2p\right),$$

on aura donc pour le travail résistant du condenseur :

$$T_r = SL\left[\frac{n}{3}\left(\frac{P}{m}+2p\right)+(1-n)p\right]=$$

$$=SL\frac{1}{3}\left[n\left(\frac{P}{m}-p\right)+3p\right].$$

Le travail développé par le moteur T_m est :

$$T_m = S\Pi E\left[1+2{,}3026\,.\,\log\frac{L}{E}\right],$$

et l'on sait que le travail utilisé T_u est généralement les 0,6 de T_m. On a donc :

$$T_u = S\Pi E\,.\,0{,}6\left[1+2{,}3026\,.\,\log\frac{L}{E}\right].$$

En comparant le travail résistant du condenseur au travail utilisé, on aura donc :

$$\frac{T_r}{T_u}=\frac{5}{9}\frac{L}{E}\frac{n\left(\frac{P}{m}-p\right)+3p}{\Pi\left(1+2{,}3026\,.\log\frac{L}{E}\right)}. \qquad (1)$$

Telle est la relation qui existe entre le travail résistant d'un condenseur quelconque et le travail utilisé.

Faisant $n=0$ pour le cas du condenseur ordinaire, et désignant par T_r^o cette valeur particulière de T_r, on a :

$$\frac{T_r^o}{T_u}=\frac{5}{3}\frac{L}{E}\frac{p}{\Pi\left(1+2{,}3026\,.\log\frac{L}{E}\right)}. \qquad (2)$$

et, en divisant membre à membre (1) par (2), on a :

$$\frac{T_u}{T_r^o}=1+\frac{\frac{P}{m}-p}{3p}\,.\,n. \qquad (3)$$

et par conséquent :

$$\frac{T_r-T_r^o}{T_r^o}=\frac{\frac{P}{m}-p}{3p}\,.\,n. \qquad (4)$$

Cette dernière formule exprime l'accroissement de résis-

tance dû au retard que la condensation éprouve, retard exprimé par la fraction n. Et comme le coefficient

$$\frac{\frac{P}{m}-p}{3p}$$

est plus grand que 1 dans toutes les applications, cet accroissement de résistance sera considérable, à moins que n ne soit une petite fraction.

APPLICATIONS.

1° *Machines à basse pression* (1^at.,25).

$\Pi = 950$ mill. mercure; supposant la détente aux $\frac{2}{3}$, $P = 634$ mill.; supposant qu'on condense à 30° de température, $p = 31$ mill.; et soit $m = 2$, plus m est grand et moins est grande la résistance due au retard de la condensation. Mais les dimensions du condenseur ne peuvent pas, surtout dans une machine navale, être exagérées. Nous supposerons, comme cas le plus favorable, que la chambre vide du condenseur ait une capacité égale à la capacité du cylindre, ou $m = 2$.

On a :

$$\frac{T_r - T_r^\circ}{T_r^\circ} = 3{,}07 . n; \ T_r^\circ = 0{,}058 . T_u; \text{ et pour } n = 1,$$
$$T_r = 0{,}236 . T_u.$$

2° *Machines à moyenne pression* (3 atm.).

$\Pi = 2280^{mm}$. détente au $\frac{1}{5}$; $P = 456^{mm}$; $p = 31^{mm}$.

On a :

$$\frac{T_r - T_r^\circ}{T_r^\circ} = 2{,}12 . n; \ T_r^\circ = 0{,}043 . T_u; \text{ et pour } n = 1,$$
$$T_r = 0{,}134 . T_u.$$

3° *Machines à haute pression* (5 atm.).

$\Pi = 3800^{mm}$ détente au $\frac{1}{10}$, $P = 380^{mm}$; $p = 31^{mm}$.

On a :

$$\frac{T_r - T_r^\circ}{T_r^\circ} = 1{,}71.n\,;\ T_r^\circ = 0{,}041.T_u\,;\ \text{et pour } n = 1,$$
$$T_r = 0{,}111\,.\,T_u.$$

On voit par là combien il importe que n soit une petite fraction ; c'est-à-dire que la durée de la condensation de la vapeur soit très-petite par rapport à celle d'un coup de piston simple.

EXTRAIT DES REGISTRES

DES DÉLIBÉRATIONS DE LA COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR.

Avis de la commission centrale des machines à vapeur sur le travail précédent.

Dans sa séance du 24 janvier 1854, à laquelle assistaient MM. Cordier, Thirria, Combes, Mary, Lorieux, Lamé, Couche, Fournel, Callon, la Commission, sur le renvoi de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, en date du 8 novembre 1853, a pris connaissance des pièces concernant un mémoire sur l'incrustation des générateurs à vapeur; et elle a entendu la lecture du rapport suivant, rédigé par son secrétaire adjoint :

RAPPORT.

M. Cousté, ancien élève de l'école polytechnique, inspecteur de l'administration des tabacs, a fait parvenir à M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, un mémoire contenant l'exposé et les résultats des recherches auxquelles il s'est livré sur les incrustations des générateurs de vapeur alimentés avec de l'eau de mer ou avec des eaux douces, et sur les moyens de prévenir ces incrustations.

M. le ministre, conformément au désir exprimé par l'auteur, a renvoyé ce mémoire à la commission cen-

trale des machines à vapeur, afin d'avoir ses observations et son avis.

Je viens rendre compte à la commission de ce travail très-intéressant, fruit de plusieurs années d'études consciencieuses. J'en présenterai d'abord une analyse succincte; puis j'entrerai dans quelques détails sur les points principaux des faits constatés, ou des théories proposées par l'auteur.

M. Cousté commence par faire ressortir l'importance de la question, en remarquant que de la suppression des incrustations, si l'on parvient à la réaliser, résulteront en général une meilleure conservation des générateurs, une plus grande sécurité contre les explosions, et surtout une grande économie de combustible, et pour les bateaux marins en particulier une extension de leur tonnage utile, et la possibilité d'employer de la vapeur à haute pression, d'utiliser la détente sur une plus grande échelle, et par suite une nouvelle économie de combustible indépendante de la première.

Il expose ensuite le résultat de ses études sur la nature et sur les circonstances essentielles de la formation des dépôts, tant dans les chaudières marines que dans celles alimentées à l'eau douce. Il présente à ce sujet des aperçus nouveaux, ou qui du moins n'avaient pas encore été exposés d'une manière aussi nette et aussi précise.

Le résultat capital est une explication qui me paraît nouvelle de ce fait bien connu que jusqu'à présent il a paru à peu près impossible d'employer la haute pression dans les chaudières navales.

Je reviendrai tout à l'heure sur cette explication.

M. Cousté expose ensuite et discute les moyens, au nombre de quatre, qui lui paraissent pouvoir être employés pour combattre les incrustations.

Le premier repose sur le principe connu et pratiqué de *l'évacuation*. Il consiste, comme l'on sait, à extraire, soit d'une manière intermittente, soit d'une manière continue, une certaine quantité de l'eau, plus ou moins saturée, de la chaudière, dont la proportion est réglée par la condition qu'il sorte ainsi de la chaudière une quantité de matières salines égale à celle qu'y introduit l'eau d'alimentation.

L'auteur pense que ce procédé est incomplet pour la basse pression, et radicalement impuissant pour la haute pression.

Toutefois, comme le plus grand nombre de bateaux marins est encore à basse pression, il est d'avis que ce procédé mérite de fixer l'attention, et il propose un appareil d'extraction qui lui paraît préférable à ceux qui sont le plus habituellement en usage.

Le second moyen repose sur ce que M. Cousté désigne sous le nom d'*alimentation monhydrique*. Ce moyen, connu depuis longtemps, exige l'emploi de condenseurs fermés, dits habituellement condenseurs de Hall.

L'auteur exprime l'avis que ce principe ne peut mener à aucun résultat pratiquement utile, par divers motifs secondaires et par cette raison principale que la condensation n'étant pas instantanée, il subsiste dans le cylindre une contre-pression nuisible pendant une partie trop considérable de la course du piston. Il cherche à déterminer par le calcul, au moyen de certaines hypothèses, la perte de force motrice qui en résulte, et il arrive pour une machine à basse pression au chiffre de 30 p. 100.

Le troisième moyen repose sur le principe de la *condensation monhydrique*, qui consiste à employer pour

condenser la vapeur, une seule et même eau condensante, qui chaque fois qu'elle aura passé au condenseur, sera suffisamment refroidie pour qu'elle devienne apte à condenser de nouveau.

Ce moyen permet l'emploi d'un condenseur ordinaire, où la vapeur et l'eau sont en contact immédiat, et où par conséquent il y a condensation instantanée ; mais il exige l'emploi d'un réfrigérant très-puissant. M. Cousté en propose un qui lui paraît remplir toutes les conditions désirables, et qui présente des dispositifs convenables pour faire les nettoyages tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des surfaces réfrigérantes, par une manœuvre prompte et facile, et sans même arrêter la machine.

Enfin le quatrième moyen proposé, qui appartient en propre à M. Cousté, consiste à alimenter *avec de l'eau surchauffée*, c'est-à-dire portée à une température d'au moins 150°, avant d'être introduite dans le générateur.

L'auteur admet que les sels calcaires (carbonate et sulfate) seront entièrement précipités.

Ce moyen exige l'emploi d'un appareil spécial nommé *surchauffeur* et d'un appareil à filtrer pour séparer le précipité. Le projet de ces deux appareils est présenté par l'auteur, qui remarque d'ailleurs que le filtrage, nécessaire pour les machines à moyenne ou à basse pression, ou pour celle à haute pression, mais à travail intermittent, pourrait être supprimé pour *les chaudières marines à haute pression*, attendu que les sels précipités dans le surchauffeur ne pouvant plus se redissoudre dans la chaudière, ni par suite cristalliser de nouveau, n'y formeraient plus qu'un dépôt vaseux et non une incrustation adhérente.

Enfin, comme conclusion de son travail, M. Cousté comparant les divers moyens qui viennent d'être énu-

mérés, pense que le dernier devra être préféré pour la navigation soit maritime, soit fluviale, et exclusivement employé pour les locomotives, tandis que le troisième, plus encombrant, pourrait être appliqué aux machines de terre placées dans des conditions de local convenables.

Tels sont les différents points traités dans le mémoire soumis à l'examen de la commission.

Je n'ai qu'une observation à faire sur la première partie de ce travail, celle dans laquelle l'auteur fait ressortir l'importance de la question dont il s'occupe; importance qui, je crois, est généralement reconnue. Elle est relative à l'économie de combustible à attendre de la suppression des incrustations. Dans une note spéciale, insérée à la fin du mémoire, l'auteur essaye d'apprécier numériquement cette économie. A cet effet, il compare deux *chaudières identiques et placées dans les mêmes conditions*, sauf que l'une est revêtue d'une incrustation calcaire sur toute l'étendue de la surface de chauffe directe et indirecte, tandis que l'autre est sans incrustation et seulement recouverte d'une légère couche d'oxyde. Il les suppose conduites de manière à produire des quantités égales de vapeur dans des temps égaux. Il en résulte qu'il faut augmenter l'intensité du feu sous la chaudière incrustée, d'où une plus grande perte de chaleur par les gaz qui s'échappent dans la cheminée et par le rayonnement extérieur du fourneau. La première de ces deux causes de perte est évidemment la plus considérable; c'est la seule que l'auteur cherche à évaluer.

Moyennant certaines hypothèses propres à simplifier les calculs, M. Cousté arrive à ce résultat que la suppression d'une incrustation qui n'a que 3 à 5 milli-

mètres d'épaisseur, peut amener une économie de 40 à 50 p. 100.

Le fait de l'économie me paraît admissible en général, mais dans une beaucoup moindre mesure que le calcul ne l'indique. Ce n'est pas, en effet, par des considérations théoriques, mais bien par des données d'expériences que les constructeurs déterminent la surface de chauffe qu'ils doivent employer pour produire pratiquement une vaporisation déterminée. Ces données sont déduites d'observations faites sur des chaudières placées dans divers états d'incrustation, et la surface de chauffe ainsi déterminée est plus grande qu'elle ne devrait l'être pour des chaudières parfaitement décapées. Or, si on brûle sous une chaudière *incrustée* ayant *une grande surface de chauffe*, et sous une chaudière *décapée* ayant une *surface moindre*, des quantités égales de combustible, et si les étendues de ces surfaces sont proportionnées de manière à compenser l'inégalité de leur conductibilité intérieure et extérieure, et à faire en sorte que les gaz arrivent au bas de la cheminée à la même température, il semble que le combustible doive être utilisé au même degré dans les deux cas.

En d'autres termes, *un état donné* d'incrustation peut ne pas amener d'augmentation dans la consommation de combustible, *si la surface de chauffe est en même temps suffisamment étendue*. Toutefois les calculs de M. Cousté n'en ont pas moins de l'intérêt, parce qu'ils montrent que la consommation pour *une surface de chauffe donnée* croît rapidement si l'épaisseur de l'incrustation augmente assez pour obliger de pousser le feu avec une activité anormale, et d'envoyer à la cheminée des gaz à une trop haute température. Cela doit suffire, sans doute, indépendamment des autres considéra-

tions, pour engager les industriels à tenir toujours leurs chaudières aussi bien décapées que possible.

Les observations de M. Cousté sur la nature et le mode de formation des dépôts ont beaucoup d'intérêt.

Il distingue les dépôts des chaudières marines qui sont formés à peu près exclusivement de sulfate de chaux, et ne contiennent aucune trace de carbonate de chaux; et ceux des chaudières alimentées à l'eau douce, qui sont formés de sulfate et de carbonate de chaux, en proportion variable selon les localités.

Quant à la nature presque exclusivement séléniteuse du dépôt, elle est très-facile à concevoir.

En effet, d'après une analyse de l'eau de la Méditerranée faite récemment à l'École des Mines, et dont M. l'ingénieur Rivot, directeur du bureau d'essai, m'a communiqué les résultats, il existe dans un litre d'eau de mer :

Acide sulfurique.	$2^g,252$	tenant	$1^g,397$ d'oxygène.	Rapport.	3,5
Chaux.	$1^g,400$	—	$0^g,398$	— —	1,0

Ce qui, approché de la formule $CO.SO^3$, montre que l'acide sulfurique est plus que suffisant pour saturer toute la chaux; et comme d'ailleurs le sulfate de chaux est le moins soluble de tous les sels qui peuvent se former, il est naturel que ce soit lui qui se précipite.

Par une théorie qui lui est propre, M. Cousté explique comment, dans le premier cas, il se précipite, en même temps que le sulfate de chaux, une très-petite quantité de magnésie qui reste pulvérulente.

Il distingue aussi les dépôts simplement vaseux qui sont formés principalement par les matières en suspension dans l'eau, ou par celles qui, comme la magnésie, l'oxyde de fer, la silice, etc., se précipitent sans avoir

tendance à se cristalliser, et les dépôts incrustants qui commencent à se former lorsque, par le progrès de l'évaporation, l'eau est arrivée à saturation par rapport aux sels dont ils sont formés.

Enfin, le fait capital qui ressort des observations de M. Cousté, est que cet état de saturation arrive d'autant plus tôt que la température de l'eau est plus élevée, c'est-à-dire que la solubilité du sulfate et du carbonate de chaux diminue dans une proportion rapide à mesure que la température s'élève au-dessus de 100°.

On savait déjà qu'entre 0 et 100° la solubilité du premier de ces sels avait un maximum qui se trouvait vers 35°, et qu'à 100° la solubilité n'était pas sensiblement plus grande qu'à zéro. Mais on n'avait pas encore étudié ce qui se passe au-dessus de 100°, et M. Cousté est, je crois, le premier qui ait mis en évidence ce fait, que la solubilité est sensiblement nulle aux températures voisines de 150° qui correspondent à 4 ou 5 atmosphères, pression habituelle de la plupart des chaudières à haute pression. Ce fait rend compte d'une circonstance jusqu'ici difficile à expliquer, et que j'ai eu plusieurs fois occasion d'observer : c'est que dans les chaudières à haute pression munies de bouilleurs réchauffeurs (comme en établissent maintenant MM. Farcot, Cavé, et d'autres constructeurs), et alimentées avec des eaux séléniteuses, c'est principalement dans le bouilleur réchauffeur le plus élevé que se fait l'incrustation, et non dans les premiers bouilleurs où l'eau n'est pas encore assez chaude, ni dans la chaudière où cependant a lieu la formation de la vapeur. Il semble donc évident qui la sursaturation est produite non par *l'évaporation*, mais par le seul fait de *l'élévation à une température suffisante*, de sorte que le dépôt se fait

dès le moment que l'eau atteint cette température.

M. Cousté explique, par ce même fait, ainsi que je l'ai déjà dit, les difficultés qu'a présentées jusqu'à ce jour l'emploi de la haute pression dans les chaudières marines.

Tous les constructeurs s'accordent, en effet, à reconnaître que lorsqu'on veut marcher à haute pression, on est extrêmement gêné par les dépôts. Aussi malgré les avantages économiques bien connus qui pourraient résulter de l'emploi de la haute pression et de la détente sur une large échelle, malgré la tendance qui se manifeste dans cette direction, la plupart des bateaux marins marchent-ils encore à *basse pression*, c'est-à-dire à *une atmosphère et demie;* d'autres marchent à 2 atmosphères avec une détente aux 5/10 : enfin la pression la plus élevée est, je crois, celle de quelques nouveaux bateaux de la Compagnie anglaise péninsulaire et orientale, de l'Himalaya, par exemple, qui marchent à 40 livres par pouce carré, soit un peu moins de trois atmosphères.

Dans les idées de M. Cousté, il serait impossible d'aller plus loin, tant qu'on n'aura pas un moyen d'éviter les incrustations. Il motive son opinion sur ce que l'eau de mer à 150° étant déjà *sursaturée par rapport au sulfate de chaux*, le procédé de l'évacuation n'offre dans ce cas aucune ressource pour diminuer les incrustations, de sorte que tout le *sulfate de chaux* introduit avec l'eau doit se retrouver dans les incrustations.

Pour que cette conclusion fût rigoureusement vraie, il faudrait être certain qu'on ne trouvera pas quelque dispositif qui, sans empêcher *le dépôt* du sulfate, empêche au moins la formation d'un *dépôt adhérent.*

Or, plusieurs constructeurs fort habiles pensent être sur la voie de ce perfectionnement, en établissant dans la chaudière une circulation d'eau rapide, qui non-seulement empêche l'adhérence du dépôt, mais encore entretient les surfaces parfaitement décapées.

On peut penser aussi, tout en admettant les faits établis par M. Cousté, qu'il ne serait pas impossible d'appliquer jusqu'à un certain point le procédé de l'évacuation, même dans le cas de la haute pression. Dans les chaudières tubulaires, par exemple, où l'ébullition est fort vive, les matières solides sont portées à la surface du liquide, et une extraction continue opérée près de la surface au moyen d'un tube fendu régnant sur toute la longueur de la chaudière, peut avoir de très-bons résultats.

Il est donc possible que la proposition de M. Cousté ait quelque chose d'un peu trop absolu. Elle est vraie cependant entre certaines limites; elle rend bien compte des difficultés pratiques qu'on a rencontrées jusqu'à ce jour, et il me paraît fort intéressant d'appeler, sur cette proposition et sur le fait qui lui sert de base, toute l'attention des ingénieurs et des constructeurs.

Ce que je viens de dire montre, qu'à mon avis, le procédé de l'évacuation n'est pas aussi impuissant, même pour les hautes pressions, que le pense M. Cousté.

J'émettrai la même idée au sujet de la condamnation que porte l'auteur, contre ce qu'il nomme l'alimentation monhydrique. Admettant même le calcul par lequel il trouve une perte de 50 p. 100 pour une machine à basse pression, cette perte serait certainement beaucoup moindre pour une machine à haute pression, dans

laquelle le vide du condenseur n'aurait pas besoin d'être aussi parfait ; et il est bien clair que, dans la pratique, l'efficacité d'un condenseur fermé serait d'autant plus grande et son action d'autant plus rapide que l'on admettrait dans ce condenseur une température plus élevée. Quant aux difficultés pratiques résultant de ce que les parois du condenseur se recouvriraient extérieurement d'incrustations calcaires et intérieurement d'un encrassement dû à l'entraînement des corps gras avec lesquels on lubréfie le piston, je dois dire que les mêmes difficultés se reproduiront dans l'appareil à condensation monhydrique, et il me paraît que les expédients ingénieux proposés par M. Cousté pour y remédier seront applicables dans les deux cas.

Enfin, pour ce qui est de la condensation monhydrique et de l'alimentation avec l'eau surchauffée, il ne me paraît pas possible d'émettre un avis définitif sur le mérite de ces procédés, avant qu'ils n'aient été l'objet d'expériences.

On peut dire seulement qu'ils sont fondés sur des principes rationnels, que beaucoup de détails d'exécution en sont ingénieux et ont été étudiés d'une manière complète par M. Cousté ; de sorte que leur publication ne peut aussi qu'offrir beaucoup d'intérêt.

En résumé, j'ai l'honneur de proposer à la commission d'émettre l'avis suivant :

La commission centrale des machines à vapeur, sans admettre dans leur entier ce que les conclusions de l'auteur du travail qui lui est soumis ont, sur certains points, de trop absolu,

Sans se prononcer, quant à présent, sur le mérite de dispositions qui n'ont point encore été expérimentées,

Pense que ce travail présente des faits et des obser-

vations propres à jeter un grand jour sur la question importante des incrustations des chaudières à vapeur en général et spécialement des chaudières marines; et émet l'avis que le susdit travail soit inséré, ou par extrait, ou *in extenso*, s'il est possible, avec le présent rapport, dans les *Annales des mines* et les *Annales des ponts et chaussées*.

Signé : J. CALLON.

La commission, après en avoir délibéré, approuvant les observations contenues dans ce rapport, en adopte les conclusions.

Le président de la commission,
L. CORDIER.

Le secrétaire adjoint de la commission,
J. CALLON.

RECHERCHES ANALYTIQUES DU PLATINE
DANS LES ALPES.

Par M. Émile GUEYMARD, ingénieur en chef des mines en retraite.

[Suite. — EXTRAIT.] (*)

Mes précédentes recherches ont été publiées par extrait dans les *Annales des mines* (1). Depuis cette époque, le platine a été recherché dans diverses localités, et sa présence a été constatée sur plusieurs points. J'ai réuni les substances soumises aux essais et aux analyses suivant leurs espèces minéralogiques. Ce mode m'a paru plus logique que celui par cantonnements. (Voir les tableaux, p. 168, 169, 170 et 171.)

Observations.

A. — J'ai fait un travail complet sur les minerais de zinc et sur le zinc métallique de la Poipe (Isère). Ces minerais contiennent un peu d'argent et des traces de platine, à la dose de 10 à 30 gr. de minerai. A. Minerais de zinc et zinc métallique.

100 kilogr. de zinc laminé renferment 5g,9 d'argent.

40 gr. de zinc ont donné de jolis indices de platine.

Les zincs de la Vieille-Montagne ne contiennent ni argent ni platine; ils sont d'un gris clair, doux, faciles à travailler, ne recevant qu'un poli ordinaire en sortant des laminoirs.

Les zincs de la Poipe sont d'un gris foncé. Ils sont plus durs, plus difficiles à travailler, et présentent un poli magnifique.

Ces différences me paraissent dues à la présence du platine et de l'argent dans les zincs de la Poipe.

B. — Je n'ai fait que deux essais sur les gîtes argen- B. Minerais argentifères.

(*) Extrait du 3e et du 4e mémoire déjà publiés par l'auteur.

(1) 4e série, t. XIV, p. 331, et t. XVI, p. 495.

tifères de Chalanches (Isère). Je n'ai pas pu constater la présence du platine.

C. Tufs de manganèse.

C. — Ces tufs appartiennent aux terrains tertiaires. Un seul m'a donné des traces de platine bien faibles.

D. Minerais de mercure.

D. — Les minerais de mercure sulfuré de Farey, près la Mure, n'ont produit que des indices bien faibles ou douteux de platine.

E. Cuivre pyriteux.

E. — Les cuivres pyriteux de diverses localités n'ont pas donné de résultats satisfaisants. Deux échantillons ont fourni des traces bien faibles et douteuses de platine.

F. Cuivre gris et cuivre carbonaté.

F. — J'ai analysé un grand nombre d'échantillons de cuivre gris et de cuivre carbonaté. Plusieurs ont donné des traces de platine; un seul a produit de très-belles réactions de ce métal. J'aurais obtenu des résultats plus significatifs si j'avais opéré à la dose de 50 gr. de minerai.

A la mine du Chapeau, j'ai trouvé, depuis 1848, cinq ou six échantillons ayant donné les plus belles réactions platinifères. D'autres ne renferment que des indices, et le plus grand nombre ne donne pas des traces de ce métal.

G. Galènes.

G. — J'ai fait des essais sur plusieurs galènes. — Je n'ai jamais trouvé dans cette espèce minéralogique la moindre trace de platine.

H. Calcaires du lias.

H. — J'ai fait l'analyse de sept calcaires de lias. Quatre ont donné des traces de platine. Dans mon second mémoire, j'avais constaté la présence de ce métal dans les mêmes calcaires et notamment dans ceux qui étaient dolomitiques. Le platine n'est donc pas dans les Alpes toujours une substance de filon : il appartient aussi aux roches des terrains secondaires. De nouvelles études pourront peut-être faire connaître pourquoi ce métal est à l'état de diffusion sur tant de points.

K. Minerais de fer carbonatés.

K. — Les minerais de fer donnent, en général, des produits variés en fonte, en fer et en acier. J'ai souvent recherché les causes qui pouvaient ainsi amener tant de

qualités ou de défauts dans un métal. Pour le département de l'Isère et pour la Savoie, j'avais toujours eu la pensée que c'était à la présence du manganèse contenu dans les minerais. Plus tard, j'avais reconnu que cette explication était insuffisante. Ce sont ces diverses réflexions qui m'ont conduit à rechercher le platine dans les minerais de fer carbonaté de nos Alpes.

Je présente l'analyse de douze échantillons pris sur des localités différentes. Neuf ont donné du platine. Ce métal était dosable sur trois échantillons en faisant les essais sur 50 grammes.

Ces nouveaux faits sont d'un intérêt bien élevé. Il conviendrait de reprendre ces essais sur les minerais du pays d'Allevard, de la vallée de la Romanche, de celle de l'Eau-d'Olle et de toute la Savoie. Le platine contenu dans les minerais doit se concentrer dans la fonte, dans le fer et dans l'acier; il ne peut rester dans les laitiers et dans les scories. Encouragé par MM. Élie de Beaumont et Combe, inspecteurs généraux, je vais me livrer très-sérieusement à ces recherches sans perdre un instant. J'ai la conviction qu'elles seront utiles à la métallurgie et qu'elles serviront pour expliquer les variantes de tant de produits dans les fers et les aciers. Il serait bien intéressant également que M. le ministre des travaux publics fît analyser par d'autres ingénieurs les minerais de fer des Pyrénées, de l'Alsace, de la Prusse Rhénane, de la Styrie, de la Carinthie et de la Suède. J'ai souvent demandé au ministre et au conseil général des mines si la diffusion du platine que j'ai bien constatée est un fait général, ou particulier seulement aux Alpes.

L. — Je présente l'analyse de sept substances étrangères aux Alpes, et dans lesquelles je n'ai pas pu constater la présence du platine. **L. Substances étrangères aux Alpes.**

Tableau des recherches analytiques du platine dans les Alpes.

NATURE DES MINERAIS soumis aux essais et aux analyses.	POIDS du minerai employé. grammes.	CUIVRE.	ARGENT. mill.	OR.	PLATINE.	
A. Blendes et zinc métallique.						
Blende pure à grandes lames, de la Poipe (Isère)	30	»	2	traces.	indices douteux.	
Blende du petit criblage de la Poipe	20	»	4,5	faibles indices.	faibles indices.	
Blende à l'état de schlick, non grillée, de la Poipe	25	»	5	*id.*	*id.*	
Blende du gros criblage, grillée une fois, de la Poipe	10	»	2,75	*id.*	*id.*	A
Blende du petit criblage, grillée une fois, de la Poipe	10	»	3	indices douteux.	indices douteux.	
Blende à l'état de schlick, grillée deux fois, de la Poipe	20	»	1,5	faibles indices.	très-faibles indices.	
Blende du Molard, près d'Allemont (Isère)	15	»	2	indices.	néant.	
Blende du Valzoufrey, au delà de la Chapelle (Isère)	15	»	1	*id.*	*id.*	
Poussière de zinc sortant des fours de réduction, de la Poipe	40	»	1,5	néant.	faibles indices	
Zinc attaché aux tubes, hors du creuset, de la Poipe	15	»	1	*id.*	neant.	
Résidus riches des cornues, après la réduction, de la Poipe	16	»	0,88	traces.	faibles indices.	
Résidus pauvres des cornues, de la Poipe	30	»	1,25	*id.*	jolis indices.	
Débris de zinc et d'oxyde, sortant des fours à reverb., de la Poipe	40	»	1,5	néant.	indices.	
Zinc métallique, deuxième coulée, de la Poipe	40	»	2,2500	*id.*	*id.*	
Zinc métallique, troisième et dernière coulée, de la Poipe	36	»	2,2500	traces douteuses.	jolis indices.	
B. Minerais argentifères.						
Nickel arséniaté des Chalanches (Isère)	10	»	»	néant.	néant.	
Minerais terreux argentifères des Chalanches (Isère)	»	»	»	*id.*	*id.*	B
Minerai d'argent de la province de Constantine (Algérie)	10	»	5	très-aurifère.	*id.*	
C. Tufs de manganèse, terrain tertiaire supérieur.						
Tuf de manganèse de la Grave (Hautes-Alpes)	55	»	»	traces d'or.	*id.*	
Autre tuf plus riche en manganèse, même localité	10	»	0,5	faibles traces.	faibles traces.	C
Tuf de manganèse de Vaulnaveys, près Vizelle	15	»	0,5	*id.*	néant.	
D. Minerais de mercure.						
Mercure sulfuré de Saint-Arcy, près la Mure (Isère)	20	»	2	*id.*	néant.	
Autre échantillon, même localité	20	»	4,75	*id.*	faibles traces.	D
Autre échantillon, même gîte	20	»	3	*id.*	traces douteuses.	

Tableau des recherches analytiques du platine dans les Alpes (suite).

NATURE DES MINERAIS soumis aux essais et aux analyses.	POIDS du minerai employé. grammes.	CUIVRE.	ARGENT. mill.	OR.	PLATINE.	
E. Cuivres pyriteux.						E
Cuivre pyriteux panaché de Champoléon (Hautes-Alpes)	15	»	2	traces.	traces.	
Cuivre pyriteux, d'une autre localité de Champoléon	30	»	9	*id.*	faibles traces.	
Cuivre pyriteux panaché du Queyrac (Hautes-Alpes)	10	»	1,5	*id.*	néant.	
Cuivre pyriteux de Riftord, vallée de la Romanche	20	»	1,5	jolis indices.	traces douteuses.	
Cuivre pyriteux du Valgodemard (Hautes-Alpes)	»	»	»	faibles traces.	néant.	
Cuivre pyriteux, mêlé de cuivre gris et de fer carbonaté, mine du Pré, canton de la Mare (Isère)	10	»	10	belles traces.	*id.*	
F. Cuivres gris et cuivre carbonaté.						F
Cuivre gris trouvé en rognons dans les terres de Vaulnaveys (Isère)	10	37 °/o	32	aurifère.	*id.*	
Cuivre gris d'Allevard, de la concession C (Isère)	10	12,6	13,5	*id.*	traces.	
Cuivre gris de Valzoufrey, avec blende (Isère)	10	»	0,5	traces.	néant.	
Cuivre gris de Saint-Julien sur Saint-Arey, près la Mure	10	36,5	40	*id.*	traces.	
Cuivre gris et carbonate de fer, du Remolou (Hautes-Alpes)	21	»	20	*id.*	néant.	
Cuivre gris des montagnes de Theys (Isère)	20	»	55	belles traces.	*id.*	
Cuivre gris du Fresney, entre le bourg d'Oisans et la Grave	10	»	37	*id.*	*id.*	
Cuivre gris du Chapeau, pays de Champoléon (Hautes-Alpes)	10	17,4	615	néant.	néant.	
Toit dolomitique du cuivre gris du Chapeau (Hautes-Alpes)	20	3	»	belles traces.	faibles indices.	
Cuivre carbonaté vert jaunâtre du Chapeau (Hautes-Alpes)	33	27,0	750	néant.	néant.	
Cuivre gris du Chapeau, bon bocard	10	»	42	*id.*	faibles indices.	
Cuivre gris du Chapeau, de la couche schisteuse dolomitique	10	»	4	traces.	néant.	
Galerie accidentelle dans le gîte du Chapeau, bon bocard	10	»	4	*id.*	*id.*	
Cuivre carbonaté du Chapeau, 1er triage	10	»	289	traces.	traces.	
Idem 2e triage	10	»	70	néant.	néant.	
Cuivre gris pur du Chapeau, 2e triage	10	»	187	belles traces.	*id.*	
Cuivre gris du Chapeau, 1er triage	10	»	318	néant.	*id.*	
Cuivre carbonaté du Chapeau, très-surchargé de gangue dolom.	25	»	45	*id.*	faibles indices.	
Autre échantillon de même nature, semblable au précédent.	23	»	93	*id.*	très-belles traces.	
Terres verdâtres du Chapeau, à la surface du sol	10	»	4	*id.*	faibles traces.	

Tableau des recherches analytiques du platine dans les Alpes (suite).

NATURE DES MINERAIS soumis aux essais et aux analyses.	POIDS du minerai employé. grammes.	CUIVRE.	ARGENT. mill.	OR.	PLATINE.	
Poussières ferrugineuses ramassées dans les fentes des montagnes de gneiss.						
Poussières des montagnes de la Citre (Isère)	15	»	»	néant.	indices.	
Autres poussières, remises par le sieur Bellue, de.	15	»	»	traces.	*id.*	
Sables d'un lac situé près des sources du Toron, pays de Champoléon (Hautes-Alpes).						
Gros sable et sable moyen	15	»	»	néant.	néant.	
Sable fin	10	»	»	*id.*	faibles indices.	
Bournonites.						
Bournonite de Lapeyrère, près Lafrey, au-dessus de Vizille.	10	8,4	2	traces.	*id.*	
Autre échantillon, du même gîte, sur un autre point	20	8,4	5	*id.*	*id.*	
G. **Galènes.**						
Galène du Chapeau, pays de Champoléon (Hautes-Alpes)	20	»	65	néant.	néant.	
Galène du vallon, *id.* *id.*	10	»	2	*id.*	*id.*	G
Galène à gangue dolomitique, vallée du Torou	10	»	3	*id.*	*id.*	
Galène de la Combe de l'Ours, au-dessus de Clavaux	20	»	5	*id.*	*id.*	
Galène du gîte de Cinabre, Saint-Arey, près la Mure	10	»	15 à 20	*id.*	*id.*	
Galène du Pontet, près le bourg d'Oisaux	20	»	2	traces.	*id.*	
Galène et blende, exploitées autrefois à Saint-Hugon (Isère).	10	»	10	*id.*	*id.*	
Pyrites de fer.						
Pyrites de fer des montag. de Laferrière, au-dessus d'Allevard.	15	»	»	traces.	néant.	
Pyrites des couches d'anthracite, du canton de la Mure	15	»	»	*id.*	traces.	
H. **Calcaires du lias.**						
Calcaire feuilleté, de Charlou, près de Clelles (Isère)	30	»	»	*id.*	traces douteuses.	
Calcaire vers le ruisseau de Darmes, près de Clelles	30	»	»	*id.*	jolis indices.	H
Calcaire de Saint-Michel, entre Clelles et le Monestier	30	»	»	néant.	néant.	

Tableau des recherches analytiques du platine dans les Alpes (suite).

NATURE DES MINERAIS soumis aux essais et aux analyses.	POIDS du minerai employé. grammes.	CUIVRE.	ARGENT. mill.	OR.	PLATINE	
Calcaire du Monestier de Clermont (Isère)	30	»	»	traces.	faibles indices.	
Calcaire feuilleté de Mayres, canton de la Mure	30	»	»	id.	id.	
Calcaire de la porte de France, à Grenoble (Oxfordien)	30	»	»	faibles traces.	néant.	
Calcaire de Jarrie, près Grenoble	40	»	»	id.	id.	
Calcaire de la gorge d'Allevard	40	»	»	id.	indices douteux.	
K. Minerais de fer carbonatés.						
Fer spathique de Remolou (Hautes-Alpes)	20	»	»	traces.	indices faibles.	
Autre échantillon de la même localité	20	»	»	id.	id.	
Fer spathique de Crotz, au-dessus de Laval (Isère)	20	»	»	id.	néant.	K
Fer spathique du Vent, vallon de Vaulnavey, près Vizille	35	»	»	traces douteuses.	jolis indices.	
Fer spathique du Vernay, id	33	»	»	néant.	id.	
Fer spathique de la grande fosse, id.	30	»	»	id.	très-faibles traces.	
Fer spathique de pierre plate, id	31	»	»	id.	id.	
Fer spathique de Mesage, près Vizille	34	»	»	id.	néant.	
Fer spathique d'Articol, passé en partie à l'état d'hydroxyde	23	»	»	traces douteuses.	très-beaux indices.	
Fer carbonaté violet, près de Mens (Isère)	35	»	»	id.	très-faibles traces.	
Fer spathique de Lafayolle, près de Lafrey (Isère)	23	»	»	néant.	id.	
Fer spathique de la mine du pré, canton de la Mure	30	»	»	faibles traces.	beaux indices.	
Fer spathique du Grand-Gorgeat, au-dessus de Tencin	23	»	»	néant.	néant.	
Fer hydroxydé du mont de Lane (Isère)	20	»	»	faibles traces.	indices douteux.	
L. Substances étrangères au sol des Alpes.						
Blende à grandes lames, d'Alais (Gard)	15	»	1	néant.	néant.	
Blende pyriteuse de Saint-Félix (Gard)	15	»	»	faibles traces.	id.	
Pyrite de fer d'Arnassan, près d'Anduze	10	»	»	néant.	id.	
Autre blende d'Alais (Gard)	15	»	»	id.	id.	L
Pyrite de fer de Saint-Julien (Gard)	10	»	»	id.	id.	
Blende mêlée de pyrites et de galène, Saint-Félix (Gard)	15	»	1,5	id.	id.	
Galène de Saint-Félix, légèrement pyriteuse	10	»	5	id.	id.	

— J'ai continué, en 1852, mes recherches sur le platine, dont les résultats sont donnés par les tableaux précédents, et j'ai trouvé qu'il joue un rôle non équivoque dans les zincs, les fontes, les fers et les aciers de l'Isère et de la Savoie.

Je vais faire connaître les résultats de ces dernières recherches (1).

J'ai cru, dans le principe, que le platine était une substance de filon; plus tard, j'ai trouvé ce précieux métal à l'état de diffusion dans les terrains stratifiés.

1° *Terrains anciens.* — 30 grammes schistes talqueux de la gorge d'Allevard, vers le Bout-du-Monde.

Traces impondérables de platine, pas d'or.

2° *Calcaires jurassiques, calcaires des grès verts.* — Sur vingt-sept calcaires soumis aux analyses, seize n'ont pas donné la moindre trace de platine, deux ont produit des réactions douteuses de ce métal, neuf ont donné des indices dosables de platine par les liqueurs titrées.

Dans mes précédents mémoires, j'avais signalé l'existence du platine dans des calcaires liasiques, dans des calcaires magnésiens et dolomitiques. Ces faits, au point de vue de la science, sont bien remarquables. Il convient de faire une nouvelle série d'essais sur les calcaires en s'approchant vers le centre de la chaîne des Alpes, et d'étudier particulièrement la formation des grès verts.

3° *Grès divers.* — La pensée de rechercher le platine dans les grès ne remonte qu'à quelques semaines. Les

(1) Voir, pour plus de détails sur ce nouveau travail, le 4° mémoire de M. Gueymard, publié avec le *procès-verbal des délibérations du conseil général du département de l'Isère*, session de 1853.

résultats que j'ai obtenus vont augmenter le champ de ces recherches.

Un échantillon des grès d'Orcières, dans la vallée des Dracs, m'a donné 1/50 de milligramme de platine sur 30 grammes de grès; je me propose d'explorer cette formation sur toute sa surface.

Les grès de Champoléon, contemporains de ceux d'Orcières, commencent près de Saint-Bonnet et finissent aux Borels-de-Champoléon, sur une longueur de 24 kilomètres. Ils reposent aussi sur les calcaires nummulitiques. Un échantillon de ces grès m'a donné 1/25 de milligramme de platine sur 30 grammes de grès.

Un échantillon du grès molasse de Voreppe m'a donné $0^{g},3$ d'or sur 100 kilogrammes; un second, traces impondérables de platine sur 30 grammes de molasse, pas d'or; un troisième a produit sur 30 grammes de molasse 1/100 de milligramme de platine, pas d'or.

Le grès inférieur des lignites du Devoluy (Hautes-Alpes) a donné sur 30 grammes, très-faibles traces de platine, pas d'or.

Le grès rouge schisteux anthracifère, du Bout-du-Monde, Allevard, n'a donné ni platine ni or.

Le grès schisteux micacé de la crête au sud du lac du Collet, près Allevard, a donné sur 30 grammes 1/150 de milligramme de platine.

4° *Sables des rivières, des torrents; diluvium.* — J'ai commencé les recherches du platine dans les sables des torrents et des rivières, après les pluies torrentielles de 1851.

J'ai pris aussi dans mes courses de 1852 des échantillons du diluvium alpin sur quelques points de l'arrondissement de Grenoble.

Vingt échantillons n'ont rien donné.

Deux ont produit des réactions platinifères douteuses.

Quinze ont donné des quantités variables de ce métal.

J'ai pu doser le platine dans certains échantillons. Ce n'est que depuis fort peu de temps que j'ai trouvé les moyens de dosage par des liqueurs titrées. Je découvre la présence du platine, lorsque sur 30 grammes de matière il y a 1/150 de milligramme de ce métal.

5° *Substances diverses.* — Terre jaunâtre venant des environs de la Motte-aux-Eaux, provenant des fouilles faites par M. Milanta : sur 15 grammes de cette terre, beaux indices de platine.

Mélange de calcaire et de sable quartzeux, remplissant les fentes du calcaire où l'on a trouvé l'or natif à la Motte-aux-Eaux : sur 15 grammes, ni platine ni or.

Calcaire au contact du gîte aurifère de la Motte-aux-Eaux : sur 15 grammes, pas de platine, traces d'or.

Tuf de magnanèse du vallon de Vaulnaveys, près Vizille : sur 25 grammes, pas de platine, traces d'or.

Tuf de manganèse, autre localité de Vaulneveys : sur 25 grammes, pas de platine. Aurifère.

6° *Galènes et plomb métallique.*— Dans mon troisième mémoire, j'avais analysé six galènes diverses sans trouver la moindre trace de platine; j'avais conclu de ces expériences et de quelques autres que les galènes ne sont pas platinifères.

J'ai analysé depuis dix échantillons de galène ou de plomb métallique. J'ai trouvé sur deux échantillons des indices de platine, mais j'ai la conviction que la présence de ce métal doit être attribuée à la présence du cuivre gris.

7° *Fers sulfurés.* — Dans mes précédents mémoires, j'avais présenté l'analyse de quelques pyrites, la plupart étaient légèrement aurifères; trois seulement avaient donné des indices faibles de platine.

Dans ce mémoire, j'ai fait l'analyse de sept pyrites :

un seul échantillon a produit des traces de platine; il est bien vrai que tous ces essais ont été faits sur 10 ou 15 grammes seulement, et cette quantité ne doit pas être suffisante; d'autre part, la nature de ces essais présente des difficultés, et il faudrait peut-être d'autres moyens que ceux que j'ai employés. Les pyrites m'ayant présenté peu d'intérêt, je n'ai pas cherché à donner ici plus de développements.

8° *Cuivres gris, cuivres pyriteux.* — Dans mes précédents mémoires, j'avais indiqué plusieurs cuivres gris plus ou moins platinifères.

Le cuivre gris étant l'espèce minéralogique la plus complexe dans ses éléments, elle avait fixé toute mon attention et j'avais été assez heureux dans mes premières recherches.

Cette année, les échantillons que j'ai pu réunir sont plus ou moins argentifères et aurifères, mais je n'ai pas trouvé la moindre trace de platine. J'ai constaté cependant que le cuivre gris de Remolon renferme des traces de ce métal.

Un cuivre gris venant de Sainte-Marie-aux-Mines dans les Vosges n'a pas donné du platine.

J'ai essayé trois cuivres pyriteux, qui sont associés avec les fers carbonatés de Saint-Georges-d'Hurtières.

Les minerais de fer de cette contrée sont assez platinifères, et il paraît d'abord surprenant que les cuivres pyriteux ne renferment pas trace de ce métal; toutefois je n'ai fait les essais que sur 10 ou 15 grammes, tandis que j'ai employé de plus fortes doses pour les minerais de fer; d'un autre côté, le cuivre pyriteux dans les filons de Saint-Georges ne me paraît pas contemporain du fer spathique. Cette différence d'âge peut aussi expliquer l'absence du platine dans les cuivres pyriteux.

9° *Minerais de fer d'Allevard, de Vaulnaveys, d'Articol (Isère), de Savoie. — Fontes de l'Isère, de Savoie; aciers d'Allevard; fers de Savoie.* — Dans mon troisième mémoire, j'avais présenté quatorze analyses de minerais de fer de l'Isère, donnant presque tous des indices de platine. On pouvait déjà penser que ce métal ne reste, ni dans les laitiers des hauts fourneaux, ni dans les scories des forges à acier ou à fer. Par conséquent le platine devait se concentrer dans les fontes, les fers et les aciers.

Dans mes recherches de 1853, j'ai constaté que les prévisions de la science étaient exactes. J'ai trouvé seulement que les proto-carbonates de fer sont plus platinifères que les hydroxydes qui en proviennent par altération. Cette différence doit-elle être attribuée au mode d'analyse ou à la disparition du platine par suite de l'altération?

Minerais de fer d'Allevard.

Trois fers carbonatés et hydroxydés ont donné de jolis indices de platine; deux, des indices; un, de faibles indices et cinq n'ont produit aucune réaction. Les proto-carbonates ont été essayés sur 50 grammes. Je n'ai pu traiter les hydroxydes qu'à la dose de 25 grammes.

Minerais de fer de Vaulnaveys.

Je n'ai analysé en 1853 que trois fers carbonatés de cette localité. Tous m'ont donné du platine.

Dans mon troisième mémoire, j'en avais essayé cinq. J'avais trouvé du platine dans quatre.

En tout, dans le vallon de Vaulnaveys, j'ai traité des minerais appartenant à huit filons. Ils m'ont donné des indices plus ou moins manifestes de platine.

Minerais de fer d'Articol.

Nous comprenons, sous le nom de minerais d'Articol, tous ceux qui sont dans la petite vallée de l'Eau-d'Olle, entre Allemont et le Rivier-d'Allemont, sur la rive droite de l'Eau-d'Olle.

Ces minerais ont été fondus autrefois au haut four-

neau d'Articol, et on se rappelle que les fers furent jugés les premiers fers de France.

J'ai essayé des échantillons de trois filons différents. Tous ont donné du platine. Dans mon troisième mémoire, j'ai cité un minerai d'Articol ayant donné les plus belles réactions à la dose de 23 gr. seulement.

D'après cet aperçu, les deux régions les plus platinifères seraient la Savoie et la vallée de l'Eau-d'Olle.

Toutefois, il ne faut peut-être pas trop généraliser. On peut se demander si le platine est répandu d'une manière homogène dans toute l'étendue d'un filon de fer carbonaté, s'il y en a plus dans le fond du filon ou à la surface, si dans le même filon le proto-carbonate en contient plus que l'hydroxyde, qui est le résultat d'une altération.

Minerais de fer de Savoie.

Les filons de fer spathique de Saint-Georges-d'Hurtières, en Savoie, alimentaient la plupart des hauts fourneaux de Savoie. Tous les ingénieurs des mines, tous les métallurgistes connaissent les magnifiques filons de Saint-Georges. Ces minerais donnent des fontes blanches très-propres pour la fabrication des aciers de fusion et du fer. Les produits ont toujours été très-estimés.

Tous les minerais de Savoie mentionnés dans ce mémoire contiennent plus de proto-carbonate de manganèse que ceux de l'Isère. La plupart des échantillons ont donné du platine pouvant être dosé sur 50 grammes de minerai et au-dessous.

Le nombre des analyses que j'ai exécutées est de treize. J'ai reconnu la présence du platine sur dix.

Fontes d'Allevard.

Je n'ai fait que deux analyses sur les fontes d'Allevard. La première a donné de jolies réactions de platine et la seconde a laissé de l'incertitude sur l'existence de ce métal. Ces recherches sont difficiles, et je me propose

d'essayer d'autres fontes de cette localité, car j'ai la pensée qu'elles seront toutes platinifères.

Fontes de Rioupéroux. Le haut fourneau de Rioupéroux est alimenté par les minerais du bassin de Vaulnaveys. Je n'ai pas eu le temps d'analyser ces fontes, et je me suis livré seulement aux essais d'une fonte à grandes lames, obtenue anciennement avec les minerais d'Articol.

A la dose de 19 grammes, je n'ai obtenu que de faibles indices de platine; mais en traitant 51 grammes, j'ai eu de jolis indices de ce métal.

Fontes de Savoie. J'ai analysé trois espèces de fontes produites au haut fourneau de Randens avec les minerais de Saint-Georges : ces fontes sont plus platinifères que les précédentes. Elles contiennent également plus de manganèse.

Aciers d'Allevard. Ces aciers sont fabriqués à Allevard avec les fontes du haut fourneau de la localité.

On emploie deux procédés pour convertir ces fontes en acier : le procédé rivois et le procédé styrien.

J'ai fait cinq analyses. Trois aciers par le procédé rivois ont donné des indices certains de platine. Un acier styrien a produit de faibles réactions platinifères. Un autre n'a rien donné. J'ai des doutes sur les essais des aciers styriens, et je me propose de reprendre ces travaux l'an prochain. Avec les mêmes fontes, on doit, théoriquement parlant, avoir les mêmes réactions dans les deux procédés.

Fers de Savoie. Je n'ai fait qu'une analyse sur les fers de Savoie et j'ai obtenu, à la dose de 51 grammes, de jolis indices de platine.

10° *Zinc métallique.* — Dans mon second mémoire, j'avais constaté la présence du platine dans les résidus de la distillation des minerais de zinc de la Poipe.

Dans mon troisième mémoire, j'avais trouvé dans le zinc métallique 5g,9 d'argent sur 100 kil. et des indices

de platine bien manifestes sur 40 grammes de ce métal.

J'ai vérifié de nouveau ces résultats, et, par l'analyse des liqueurs titrées, j'ai trouvé $0^g,1$ de platine sur 100 kilogrammes de zinc.

Les propriétés physiques du zinc de la Poipe étant bien différentes de celles du zinc de la Vieille-Montagne, il devenait nécessaire d'analyser le zinc de cette dernière localité.

Le zinc de la Vieille-Montagne n'a pas donné la plus légère trace de platine.

La couleur d'un gris foncé, la dureté et le beau poli du zinc de la Poipe ne peuvent être attribués qu'à la présence du platine et de l'argent que j'ai pu reconnaître et doser.

— En résumé, le platine existe donc dans les Alpes du Dauphiné et de la Savoie sur plusieurs points. Il se trouve à l'état de diffusion dans un grand nombre de filons, dans les calcaires jurassiques, dans les grès nummulites, dans les molasses et dans le diluvium alpin ; il se trouve également dans les sables de rivières et de ruisseaux ; enfin il joue un rôle dans les zincs, les fontes, les fers et les aciers de nos contrées.

MÉMOIRE

SUR LES GISEMENTS DES MINERAIS DE CUIVRE ET LEUR TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE DANS LE CENTRE DE LA NORWÉGE.

Par M. DUCHANOY, ingénieur des mines.

Pendant le cours d'un voyage que j'ai exécuté dans la Suède, la Norwége et la Laponie en 1852, j'ai visité en détail le district qui produit des cuivres, et ce sont les observations que j'ai recueillies durant ce voyage sur le gisement et le traitement métallurgique des minerais cuprifères que j'ai consignées dans ce mémoire.

Bande cuprifère du centre de la Norwége.

Les cuivres produits par le centre de la Norvége proviennent d'un certain nombre de mines situées sur une même bande cuprifère, qui s'étend sur un espace considérable. Cette bande commence en Suède au lac de Kalnn et à l'Åreskuttan, et s'étend en Norwége jusqu'au Sogne-fiord; elle est par conséquent dirigée du nord-est au sud-ouest. Dans l'autre sens, elle est beaucoup moins étendue; car on peut lui donner comme limite le fiord de Drontheim et la paroisse de Tydal.

Cette bande cuprifère, qui du reste est bien loin d'être continue, se trouve entièrement comprise dans la masse des terrains de transition qui forme le centre de la Suède et de la Norwége et qui s'étend depuis le Tellemark jusqu'à la Laponie. Ces terrains, connus généralement sous le nom de terrains d'Urthonschieffer, sont immédiatement inférieurs au terrain silurien, sous lequel ils plongent auprès du lac de Miösen en Norwége et du Stor-Sjö en Suède. Constamment azoïque, il est composé d'assises de schistes argileux ou chloriteux,

de schistes cristallins, de grauwackes, de quartzites et à la partie supérieure de calcaires qui souvent ont beaucoup d'analogie avec les calcaires siluriens. Dans certaines parties on y retrouve cependant des couches qui seraient, à plus juste titre, rangées dans les terrains qui l'ont précédé; car on y voit quelquefois des schistes amphiboliques et des couches de gneiss; mais ce ne sont que des exceptions. En général on ne trouve que des couches appartenant au système nommé le système Cambrien.

C'est dans les terrains de ce système qu'ont été jusqu'à ce jour découvertes toutes les mines de cuivre du centre de la presqu'île scandinave, et c'est dans des terrains du même genre que se trouvent dans le Nord les mines de cuivre de la baie d'Alten.

Le hasard a été jusqu'à ce jour pour tout dans la découverte des mines. S'il en a déjà fait, il est vrai, découvrir un grand nombre, il n'en est pas moins hors de doute que si les recherches étaient conduites d'une manière plus suivie, on en trouverait beaucoup d'autres au milieu de ces pays à peine habités du centre de la Norwége et de la Suède, où errent encore aujourd'hui des tribus laponnes qui semblent y avoir été oubliées par leurs compatriotes, que la civilisation a refoulés vers le Nord. Il est cependant vrai de dire que cette recherche est d'une extrême difficulté : car on n'a aucune loi pour se guider dans la recherche des gîtes métallifères. Sans régularité ni dans leurs allures, ni dans leur richesse, ils sont dispersés irrégulièrement dans la bande cuprifère. Aussi rencontre-t-on dans un grand nombre d'endroits d'anciens travaux de mines abandonnés, soit que le minerai eût cessé complétement, soit qu'il se trouvât en trop petite quantité; car si les gisements découverts jusqu'à ce jour sont nombreux,

ils ont l'inconvénient de presque tous les gisements de cuivre de la Norwége, celui d'avoir une étendue très-restreinte. Le plus grand nombre ne renferme que si peu de minerai et sur des espaces si petits que l'on a à peine le temps d'établir une exploitation régulière.

Énumération des districts de mines.

Parmi ces nombreuses mines, plusieurs formèrent des groupes qui ont donné lieu ou donnent encore lieu à des exploitations régulières. Parmi ceux-ci on doit citer en première ligne les groupes de Sœlbo, de Lokken, d'Indset et de Roraas en Norwége, et celui de l'Åreskuttan en Suède. Trois seulement sont aujourd'hui en exploitation : ce sont ceux de Sœlbo, de Roraas et de l'Åreskuttan. On a exploité à des époques différentes bien d'autres mines, mais toutes d'une importance assez restreinte. On a extrait du cuivre au nord du lac de Kalln et sur les bords du lac d'Ann en Suède, à Levanger et à Gulstadt, dans la partie nord de la province de Drontheim. Au sud du groupe de Roraas, on a eu jadis l'usine de Frederickgave qui traitait, outre les minerais des mines voisines, ceux des mines de Slare, de Werte et de Mœn, situées dans les environs d'Espedal, où l'on a découvert depuis de riches mines de nickel; mais cette usine est depuis longtemps détruite.

On a également signalé des gisements de cuivre dans l'île de Smolen, près de celle d'Hitterœ, à Halbran, au pied du glacier du Justedal, points où existent des lambeaux du terrain d'Urthonschieffer, et enfin dans les vallées environnantes du Sneehaettan et surtout dans celle du Gruvedal. On a également découvert et exploité des mines de cuivre aurifère à Aardal, dans l'Aardal-fiord, l'un des bras du Sogne-fiord. Mais ces mines n'ont jamais donné lieu qu'à des exploitations très-peu considérables.

Les deux centres principaux sont aujourd'hui celui de la province de Drontheim et celui de l'Åreskuttan. Je ne m'occuperai que du premier. Il peut se diviser, ainsi que je l'ai déjà dit, en quatre groupes principaux : 1° celui de Sœlbo ; 2° celui de Lokken ; 3° celui d'Indset ; 4° celui de Roraas.

Parmi les différents groupes des mines de cuivre du centre de la Norwége, le groupe de Roraas est de beaucoup le plus important et par suite le plus intéressant à étudier. C'est aussi ce groupe que je vais décrire avec détail, et si l'on ne peut le prendre pour un modèle toujours parfaitement exact pour la nature et l'allure des autres gisements, le mode de traitement qui y est suivi est du moins exactement le même que celui de l'usine de Meraker, la seule encore en activité en dehors de ce groupe.

Géologie des environs de Roraas.

Si l'on considère les environs de Roraas au point de vue géologique, on y trouve des particularités assez curieuses, non-seulement sous le rapport des phénomènes erratiques et des phénomènes de soulèvement de la Suède, mais encore sous le rapport de la nature du sol. Il n'entre pas dans le plan de ce travail d'étudier ces phénomènes, qui n'offriraient ici qu'un exemple isolé dont il serait impossible de rien conclure ; mais je dois donner un aperçu rapide sur la nature du sol au point de vue géologique avant d'entrer dans des descriptions plus circonstanciées sur chacune des mines de ce groupe.

Les environs de Roraas sont, comme je l'ai déjà dit, composés de ces terrains qui sont les derniers terrains azoïques et dont on trouve de nombreux exemples tant dans le sud de la Norwége que dans le Finmark ; mais ici encore, si, pour étudier ces terrains, on s'en rapportait à ceux des environs de Roraas et de Drontheim, on

ne les connaîtrait que très-imparfaitement. Il faut absolument visiter ceux de la baie d'Alten pour pouvoir les classer dans leur ordre naturel; je ne puis donc ici donner qu'un simple aperçu sur la constitution géologique des environs de Roraas, sans entrer dans aucun détail sur la relation des terrains avec ceux qui les précèdent ou les suivent.

Dans les environs de Drontheim les terrains sont en général composés de schistes argileux; mais quand on descend vers Roraas, on trouve des terrains calcaires, des poudingues, des grauwackes et des schistes tantôt chloriteux ou même un peu talqueux, tantôt micacés. Ces terrains paraissent être plus anciens que ceux des environs de Drontheim, et l'on est d'autant plus porté à le croire qu'on y trouve intercalés des micaschistes. En général les environs de Roraas sont composés de schistes chloriteux diversement contournés, plus ou moins feuilletés et où l'on trouve du mica tantôt brun, tantôt blanc. Dans certains points la chlorite diminue, et le quartz et le mica prédominent, et alors la roche ressemble d'une manière complète au micaschiste. Le quartz s'y trouve du reste en général à deux états différents : d'abord en grosses veines, véritables filons, de quartz translucide, et ensuite en lits minces intercalés entre les couches, et alors soit à gros grains, soit à grains fins.

C'est à travers ces terrains que se sont injectées les pyrites de fer et de cuivre qui forment les exploitations. Ils ne tiennent, du reste, que fort peu de minéraux accessoires; sauf les grenats qui s'y trouvent souvent en très-grande quantité, soit en gros soit en petits cristaux, on ne peut guère citer que des veines de talc serpentineux et des veines argileuses qui accompagnent souvent la matière métallifère; mais ces dernières pour-

raient très-bien provenir de la décomposition de la roche même pendant l'infiltration des matières métallifères. Quant aux premières, on doit peut-être en chercher l'origine dans les phénomènes qui ont contribué à produire les accidents de terrains des environs de Roraas : je veux parler de l'apparition des masses de serpentine accompagnée de fer chromé et de norite, que l'on trouve à la montagne de Rohammer, à Tonset sur le Tron-field et auprès du lac de Faemund. Quand on se rapproche de ces montagnes, on voit toujours les couches des terrains relevées de tous côtés par les éruptions serpentineuses, et comme dans beaucoup de parties ces éruptions, bien qu'elles ne soient pas apparues au jour, ont dû se faire sentir, les terrains se trouvent relevés dans tous les sens, et les directions des couches n'ont aucune signification quand on les examine de trop près.

Les minerais de fer et de cuivre étant antérieurs à ces éruptions, puisqu'ils sont relevés avec tout le terrain sur les montagnes serpentineuses, proviennent peut-être de phénomènes en relation avec ceux-ci, et par conséquent la présence du talc passant à l'asbeste n'a rien qui doive étonner dans les mines de Roraas.

Je vais maintenant entrer dans des détails particuliers sur chacune des mines de ce groupe, et après les avoir décrits successivement, je dirai quelques mots sur la nature du gîte.

Mine de Storwartz.

Quand on va à l'est de Roraas, à environ 9 kilomètres de cette ville, on traverse des montagnes sans végétation ; sous le terrain tourbeux on aperçoit de temps en temps un lambeau du sol : alors on a un schiste argileux et chloriteux d'un bleu grisâtre entremêlé de mica brun, ou bien un schiste où le mica est plus continu entremêlé de quartz et se rapprochant plus du

micaschiste. On trouve aussi quelquefois une roche composée de petites masses de mica brun verdâtre disposées en tous sens et empâtées dans un ciment quartzeux. Toutes ces couches ont une direction générale N.-N.-O., S.-S.-E., et plongent à l'O.-S.-O. sous un angle d'à peine 4 ou 5 degrés.

Si l'on pénètre dans la mine, on y trouve une roche en tout semblable à celles des environs. C'est une roche schisteuse, tantôt avec des lames de chlorite couchées dans le plan de la schistosité et avec un peu de mica, tantôt avec une plus grande quantité de mica et passant au micaschiste. Les parties qui ne contiennent que peu de mica et de quartz sont traversées généralement par de grandes bandes de quartz qui y forment des filons postérieurs aux couches et se coupant en tous sens. Les couches sont tantôt planes avec un plan de schistosité parfaitement régulier, tantôt elles se recourbent dans tous les sens et forment les contours les plus bizarres sans cependant que la direction générale en soit altérée. Cette direction est ici encore N.-N.-O., S.-S.-E. avec pendage E.-N.-E. de 10 degrés environ. Nature de la roche.

On distingue principalement deux espèces de roches dans cette mine. La première est une roche où l'on a des assises successives de quartz à petits grains et de mica; elle est d'une dureté moyenne; elle est quelquefois pénétrée par des cristaux de feldspath. L'épaisseur de chacune des couches en particulier est très-variable et se tient entre 1 et 5 ou 6 millimètres. Dans cette roche on trouve quelquefois de gros cristaux de fer magnétique cristallisé en octaèdre et de beaux cristaux de grenats d'un rouge clair, mais très-petits; ces derniers forment souvent une masse compacte qui remplace toute la roche : on a alors une véritable assise de grenats.

La deuxième roche est composée presque exclusivement de chlorite d'un vert foncé empatant une grande quantité de grenats de la grosseur d'une noisette ; sur les bords de ces couches de chlorite, on trouve généralement des couches talqueuses passant à l'asbeste. On a également signalé dans cette mine des masses d'actinote radiée, de la trémolite d'un gris jaunâtre et de l'amianthe.

La roche est traversée par des veines d'une matière décomposée qui est argileuse, et qui nuit beaucoup à la propreté de la mine. On trouve aussi en quelques endroits des veines composées de mica, de feldspath et de quartz cristallisés et formant une roche ressemblant à un granit à grains moyens. Mais les parois de la mine sont tellement enfumées et tellement salies par les nombreuses inondations qu'elle a subies, qu'il est très-difficile de suivre les couches et de les reconnaître.

Les parties qui contiennent du minerai n'offrent aucun changement dans la roche. Seulement, dans ces parties, on trouve, entre les feuillets des couches, des nodules de minerai. Ces nodules ou rognons lenticulaires se suivent quelquefois en chapelets, ou bien, étant plus étendus qu'épais, ils forment comme des veines qui ont depuis quelques millimètres d'épaisseur jusqu'à plusieurs centimètres. On voit aussi les pyrites de cuivre affecter la forme de boules qui auraient comme des pointements de cristaux sur toute la surface, mais cette apparence est très-rare. Les rognons de minerai sont entourés par la roche, et surtout par la chlorite et la roche talqueuse, qui forment des replis autour d'eux. Mais on voit aussi des nodules de minerai enchâssant des morceaux de la roche chloriteuse. Avec la pyrite de cuivre, on trouve, comme minéraux accessoires, de la pyrite magnétique, de la pyrite ordinaire quelquefois

en assez grande quantité, et plus rarement du cuivre panaché, de la blende et de la galène. La pyrite de cuivre est aussi quelquefois mélangée à du quartz blanc.

Influence de la roche sur la richesse.

Maintenant quelles sont les roches qui contiennent les parties les plus riches et qui semblent avoir une espèce d'attraction sur la matière métallique? Voici ce que l'on a toujours observé à la mine de Storvartz. Quand la roche est très-quartzeuse et passe au micaschiste, on est à peu près sûr d'être dans une partie stérile. Le minerai n'y formera que des veines excessivement minces, et l'on n'aura que très-peu de profit à l'exploiter. Mais si l'on arrive où les couches sont plus chloriteuses, contiennent plus de talc et moins de micachiste et de quartz, généralement on verra la quantité des pyrites augmenter. Les lits de minerai seront plus épais, et on commencera à trouver de plus gros rognons en chapelets. Si l'on trouve enfin une partie où il y ait beaucoup de chlorite ou de talc avec une grande quantité de gros cristaux de grenats, on peut affirmer que l'on va arriver à un endroit où le minerai sera très-abondant. C'est donc la chlorite ou le talc et les grenats qui annoncent la présence de la matière métallique.

La pyrite de fer est en général intimement mélangée à la pyrite de cuivre dans la mine de Storvartz, mais elle ne s'y trouve pas en très-grande quantité. C'est en général de la pyrite jaune ; la pyrite magnétique y est beaucoup plus rare. La pyrite est en général à grains fins, et quelquefois elle ne fait qu'entourer la pyrite de cuivre sans être mélangée avec elle.

J'ai tout à l'heure parlé de veines de quartz qui se sont infiltrées à travers les couches. Ces veines sont en général composées de quartz blanc hyalin, dont l'existence est évidemment antérieure à celle de la matière mé-

tallique; car il est souvent traversé par des veines de celle-ci. Mais alors on remarque toujours un singulier phénomène : c'est que la matière qui se trouve dans le quartz est de la pyrite de cuivre parfaitement pure sans aucun mélange de pyrite de fer ni d'aucune autre matière, tandis qu'il est très-rare de trouver dans les autres parties de la pyrite de cuivre complétement exempte de pyrite de fer. Le quartz semble ainsi avoir exercé une action de répulsion sur la pyrite de fer et sur les autres matières.

Le gîte, ou plutôt la partie des couches qui a été imprégnée de minerai, a des dimensions très-variables dans tous les cas; car tantôt elle a 350 mètres de large, tantôt seulement 100 mètres, et pour l'épaisseur elle varie de $0^m,40$ ou $0^m,50$ à 4 et 5 mètres. Quant aux limites, on n'a pas à proprement parler de coupure nette sur les côtés; on arrive seulement à des parties où la roche finit par ne plus contenir assez de minerai pour pouvoir être exploitée avec profit. On peut cependant remarquer, dans toute la partie imprégnée de matière métallique, une diminution d'épaisseur continuelle vers les bords; mais cette diminution ayant lieu quelquefois même au milieu du gîte, elle ne signifierait rien si l'on ne s'était assuré par des travaux de recherches que la roche était désormais stérile.

Le gisement de cuivre de la mine de Storvartz affecte donc la forme d'une énorme lentille variable de largeur et allant toujours en s'amincissant vers les côtés. Dans cette énorme lentille, les couches des terrains n'ont pas été brisées ou disloquées comme il arrive lorsque des filons s'introduisent dans des terrains sédimentaires. La matière métallifère en arrivant des entrailles de la terre, soit à l'état de liquide, soit en suspension dans des eaux, s'est infiltrée à travers les couches et sui-

vant leurs plans de schistosité, sens où elles présentaient le moins de résistance. Elle s'est déposée dans toutes les parties où elle a pu trouver un espace libre, en comprimant les roches environnantes. L'introduction de la matière métallique avait été précédée par l'apparition de matières chloriteuses et talqueuses qui s'étaient également infiltrées entre les couches du terrain. L'antériorité de ces matières est rendue incontestable par ces noyaux de pyrite dont le centre est formé par un morceau de chlorite ou de talc. Ces deux matières semblent, comme je l'ai dit, avoir exercé une influence attractive sur la matière métallique; mais cette action n'existe peut-être en aucune façon. Seulement la même raison qui avait fait trouver à la chlorite et au talc une plus grande facilité à s'ouvrir un passage à travers les couches en certains points, et à s'y déposer en plus grande quantité, grâce à la moins grande ténacité de la roche, a fait probablement que la matière métallique a trouvé dans ces mêmes points une plus grande facilité à y former des rognons plus considérables. Cette raison de ténacité pourrait rendre compte en même temps de la plus grande richesse des parties composées de schistes argileux ou chloriteux qui sont moins durs que les micaschistes.

Le gisement de la mine de Storvartz est donc une dissémination sur une certaine étendue dans les couches du terrain, de matières métalliques qui se sont infiltrées à travers les couches et se sont déposées dans toutes les parties où elles ont pu trouver un espace libre. Le dépôt a eu lieu généralement en rognons plus ou moins gros, mais n'atteignant jamais des dimensions bien considérables. Ce n'est donc pas à proprement parler un dépôt en amas, et encore bien moins un filon dans le sens qu'on lui attribue d'habitude. Je re-

viendrai, du reste, sur ce point après avoir étudié les trois mines du groupe de Roraas.

Mode d'exploitation.

La mine de Storvartz, découverte d'abord à la surface et exploitée en ce point, a présenté, grâce au peu d'inclinaison des couches, une grande facilité à l'exploitation. C'est, du reste, cette disposition qui a fait dès l'origine adopter le mode de travail encore aujourd'hui en usage.

On s'est avancé dans le gîte en le découpant par des galeries, que l'on taillait de toute la hauteur de celui-ci; puis, en reliant ces galeries d'avancement par d'autres galeries transversales, on obtient ainsi un véritable réseau de galeries découpant le gîte en piliers. On suit encore la même méthode aujourd'hui. Les massifs conservés et dont on connaît à peu près la richesse, étant d'une facile exploitation, servent à alimenter les usines quand les travaux d'avancement ne donnent pas assez de minerai. Du reste, ces piliers deviennent quelquefois si pauvres qu'il n'y a plus aucun profit à les exploiter : on les abandonne alors. Dans tous les cas, on est toujours obligé de laisser une certaine portion de chaque pilier pour soutenir le toit: mais comme on ne laisse que les parties pauvres autant que possible, on trouve en descendant dans la mine une série de piliers disposés irrégulièrement et de formes plus irrégulières encore.

J'ai dit plus haut que les couches se repliaient quelquefois et étaient ondulées : il en résulte que comme on n'exploite jamais le toit ni le mur, à moins que la partie métallifère ne soit de trop peu de hauteur, on a généralement un sol très-inégal et très-raboteux. Certaines parties de la mine qui sont par leurs positions bien au-dessus de la partie la plus profonde, deviennent de véritables réservoirs d'eau qu'il faut vider; en outre, comme il y a des masses argileuses considéra-

bles, et que les couches elles-mêmes se délitent souvent assez facilement, on a partout dans les galeries une grande épaisseur de boue pendant l'été, et elle rend pendant cette saison les transports très-coûteux, tandis qu'avec un peu de soin, grâce à la disposition du gîte, ils pourraient revenir à fort peu de chose.

Abatage.

La roche est abattue à la poudre ; deux ouvriers travaillent toujours ensemble, et leur paye est réglée d'après des accords particuliers à chaque chantier. Cependant on peut regarder le prix de 17f,20 par mètre cube dans les galeries d'avancement, et de 10f,50 par mètre cube dans l'abatage des piliers, comme un prix moyen. Mais ils doivent payer là-dessus tout le matériel dont ils ont besoin, huile, fleurets, poudre, marteau, mèches, etc., etc.; seulement la compagnie leur fournit tous ces objets aux prix coûtants, et chaque ouvrier a un compte où l'on inscrit tout le matériel qu'on lui a fourni. Il y a dans la mine plusieurs petites forges où ils peuvent aller forger eux-mêmes leurs outils; mais en général ils payent entre eux un ouvrier qui est constamment occupé à réparer les outils d'un certain nombre d'ateliers.

État de l'exploitation.

La partie où l'on est arrivé aujourd'hui est excessivement pauvre, et l'on est dans une partie où les couches sont presque du micaschiste pur, sans veines de chlorite ni de talc. Le gîte finirait-il ? C'est ce que l'on ne saurait affirmer, mais son appauvrissement est de bien mauvais signe. Dans tous les cas, on aurait encore pour plusieurs années du minerai dans les piliers que l'on a conservés et que l'on pourrait reprendre; mais ce serait là un grand malheur pour cette compagnie, car elle se verrait, dans un temps très-limité, obligée d'arrêter un certain nombre de ses fourneaux, à moins que l'on ne découvrît quelque autre mine.

Les travaux sont aujourd'hui à 180 mètres au delà du dernier puits qui existe dans la mine, et à plus de 1.200 mètres de l'entrée. Les travaux d'avancement ont lieu par dix galeries ; et quand je visitai la mine, on était arrivé à un point où l'on devait les relier par une galerie transversale, ce qui a lieu tous les 40 mètres. Au point où l'on travaillait et au centre du gîte, la partie métallifère s'était divisée en deux parties séparées par un espace stérile. On avait dû attaquer le gîte par deux chantiers superposés ; mais déjà on signalait l'abaissement de la partie supérieure, et l'on présumait que l'on allait bientôt arriver au point de réunion des deux parties.

On avait, dans la prévision d'une continuation du gîte, commencé dens la vallée qui joint les lacs de Hytens et de Dyo une grande galerie d'écoulement qui devait avoir 2.400 mètres de longueur ; mais en voyant le minerai diminuer en aussi grande proportion, on a interrompu les travaux après 200 mètres, et on ne les reprendra qu'autant que le minerai redeviendra plus abondant.

Les ouvriers mineurs ne font qu'abattre le minerai ; d'autres ouvriers sont chargés de venir le prendre et de le transporter jusqu'au puits où on le monte au jour. Ce transport se fait avec les charrettes ordinaires du pays, attelées d'un seul cheval. La hauteur des galeries et leur largeur permettent une circulation facile ; mais on ne comprend pas comment elles peuvent résister aux chocs qu'elles reçoivent à tout instant. L'état déplorable du sol de la veine restreint beaucoup le travail d'un cheval dans sa journée, outre qu'il détériore le matériel. Un tombereau ne tient que la moitié de la charge d'une tonne du puits, qui a $0^m,95$ de haut, et $0^m,65$ de diamètre au fond et $0^m,79$ en haut ; son cube

est d'environ $0^{mc},380$. Arrivé au puits, on décharge le tombereau dans une trémie. Les ouvriers qui conduisent les chevaux et chargent le minerai reçoivent par jour $1^{f},12$. Toute la roche est sortie pêle-mêle sans aucun triage préalable.

Il me reste à parler du système d'épuisement et d'aérage. A mesure que l'on s'est avancé en profondeur, on a percé successivement des puits pour l'aérage, la sortie du minerai et l'épuisement. Il existe aujourd'hui cinq de ces puits, mais deux sont complétement abandonnés. Des trois qui subsistent, les deux plus rapprochés de l'entrée de la mine ont des roues hydrauliques mues par les eaux venant d'un lac situé sur le haut de la montagne. Ces roues font mouvoir chacune deux séries de pompes faites en sapin creux et fort mal installées. Les roues hydrauliques sont à 200 mètres de l'ouverture des puits, et font mouvoir les pompes au moyen de communications de mouvement. Les canaux qui amènent l'eau aux roues sont tantôt sous terre, tantôt portés en l'air par des boisages, et recouverts de branches de sapin pour éviter que l'eau ne gèle pendant l'automne, époque où la gelée ne se fait pas encore sentir dans la mine, et où les eaux sont les plus abondantes. Pendant l'hiver, les mines sont entièrement gelées, et l'on n'a plus d'épuisement à faire. L'eau des mines arrive de deux manières aux puits, tantôt par la pente naturelle, tantôt dans des tonneaux portés à bras d'homme. Ce transport coûte excessivement cher : heureusement les eaux ne sont pas trop abondantes.

L'aérage se fait naturellement, et l'on n'a besoin d'employer aucun moyen artificiel.

L'extraction a lieu au moyen d'un manége à chevaux placé sur le dernier puits : la profondeur de ce puits

est à peu près de 100 mètres. Les tonnes, en arrivant en haut du puits, se renversent sur une planche qu'elles ont soulevée et qui bouche la moitié du puits. Le minerai se charge dans des wagons qui vont à l'atelier de cassage au moyen de petits chemins de fer. Les câbles d'extraction sont en fil de fer. Toute cette partie est assez nouvelle, et beaucoup mieux installée que tout le reste.

Cassage. Le minerai est conduit par les wagons derrière de grandes cases à fond incliné, et y est versé. Ces cases ont une largeur de 4 mètres et une longueur de 5 mètres. Le minerai arrive ainsi facilement à portée de l'ouvrier qui est au pied de ces cases. Chaque ouvrier a sa case, et le contrôle des quantités triées et cassées se fait par la quantité apportée dans chaque case. On a huit de ces cases dans l'atelier de la mine de Storvartz, et elles suffisent complétement. Les ouvriers avec une pelle en fer attirent le minerai à eux, puis ils voient si les gros morceaux sont assez riches; s'ils le sont, ils les mettent à part pour les joindre aux minerais bons à fondre; s'il y a des parties trop pauvres, ils les cassent et ne prennent que les parties riches. Des autres morceaux ils font trois espèces : 1° du minerai bon à passer au cylindre, tenant environ 3 p. 100; 2° du minerai bon à bocarder, tenant 2 p. 100; 3° du minerai douteux, qui est déposé dans des halles à part, et dont on prend souvent des essais pour contrôler le travail des ouvriers; 4° du minerai décidément pauvre, qui est jeté. On est obligé d'exercer un contrôle sévère sur les ouvriers pour qu'ils ne jettent pas de minerai riche, car ils sont payés suivant les quantités tirées et cassées. Il reste enfin du menu, qui est trop sale pour que l'on puisse juger de sa teneur : on l'envoie à la laverie. Il faut encore ici veiller de près, afin que les ouvriers ne

mettent pas comme menu des morceaux par trop gros. On travaille toute l'année à la casserie, et on verra tout à l'heure qu'il n'en est pas de même pour les autres préparations. Le minerai est porté dans des wagons circulant sur de petits chemins de fer, aux divers points où il doit se rendre en sortant de l'atelier de cassage.

Les ouvriers casseurs reçoivent pour le cassage du minerai des sommes qui sont très-variables, suivant la saison et suivant la dureté du minerai; mais d'après tous les comptes d'une année, le cassage charge chaque quintal de minerai ou de schlich bon à fondre d'une dépense de $0^{f},24$.

Le minerai envoyé à la laverie doit d'abord être débourbé et ensuite séparé du fin. Pour cela on apporte le minerai sur des tables en tôle percées de trous de 4 à 5 millimètres de diamètre. On fait alors tomber sur le minerai de l'eau d'une hauteur d'un mètre environ. On agite toute la masse avec une pelle, et on obtient ainsi deux parties du gros qui reste sur la table et du menu qui passe à travers les trous. Lavage.

Le gros est pris à la main, et d'après son apparence on le classe en minerai bon à fondre, ou en minerai douteux, ou en minerai décidément pauvre. Le premier est envoyé à l'usine, le deuxième est mis dans des halles et essayé de temps en temps, le troisième est jeté. Il faut ici encore un contrôle d'autant plus sévère que le travail a lieu par des enfants, afin qu'il coûte moins cher.

La partie qui passe à travers les trous arrive dans une grande caisse à fond incliné avec toute l'eau de lavage. Un enfant agite continuellement l'eau de manière que les parties par trop fines s'écoulent avec l'eau dans le ruisseau. Ce qui reste dans la caisse est travaillé sur des tamis. Ces tamis ont $0^{m},50$ de diamètre et les re-

bords de 0^{m},15. Il y en a de deux espèces : la première a un fond en toile métallique, dont les trous ont 2 millimètres environ ; la toile de la deuxième est excessivement fine. Les tamis sont suspendus par trois points à une perche en bois flexible, attachée à la charpente du toit, et d'au moins 4 mètres de longueur. Le tamis peut se mouvoir dans un tonneau d'un mètre environ de diamètre et d'autant de profondeur. Le travail consiste à donner des secousses qui soulèvent le minerai. Celui-ci en retombant se classe naturellement par richesse. Quand on a donné un certain nombre de coups et que le minerai est assez bien classé, on enlève le dessus que l'on jette et on prend la partie inférieure qui est du minerai bon à fondre. C'est, du reste, tout à fait l'enfance des appareils de ce genre comme travail et comme matériel. Le premier tamis donne au fond de la cuve du minerai fin que l'on travaille de même sur le deuxième tamis et qui donne également du riche et du pauvre.

La matière qui passe à travers les mailles du deuxième tamis et qui est très-fine est travaillée sur un graben allemand. C'est une longue caisse de 0^{m},50 de large, de 1^{m},80 de longueur et de 0^{m},60 de profondeur : l'inclinaison du fond est de deux degrés environ. La matière à laver étant placée auprès de la partie supérieure de l'appareil, on fait couler l'eau et on agite avec un râble en bois en ramenant constamment la matière vers le haut. Il se fait ainsi un classement par richesse. Quand la caisse est pleine, on prend vers la tête la partie que l'on juge assez riche pour être fondue. Les frais de main-d'œuvre du lavage chargent chaque quintal de matière bonne à fondre d'une somme de 0^{f},01. En général, on donne à chaque enfant employé à la laverie une somme de 2^{f},80 par semaine, et il lave

environ 15 quintaux métriques de minerai par semaine.

Travail des cylindres.

Le minerai qui doit passer aux cylindres est un minerai intermédiaire où il y a des parties très-riches et d'autres très-pauvres, mais que l'on ne peut séparer par le cassage. Les cylindres sont des rouleaux en bois garnis à leur pourtour de bandes de fer. Ils sont mobiles autour de tourillons : l'un des cylindres est fixe, l'autre est mobile, grâce à une série de petites tiges de bois que l'on place entre les montants de l'appareil et les tourillons. Cette disposition permet aux cylindres de s'écarter un peu. Le tout est monté dans une forte charpente en bois, qui reçoit, du reste, des secousses très-violentes, et que l'on a dû par conséquent établir très-solidement. Les cylindres sont placés à une distance de 5 à 6 millimètres. Leur diamètre est de $0^m,50$ et ils ont $0^m,60$ de longueur. Au-dessous des cylindres, il y a un tamis à secousses avec deux espèces de toiles. Ces tamis ont $0^m,50$ de large et $1^m,50$ de longueur. La première moitié a des toiles avec des trous de 2 millimètres de grandeur, l'autre a des toiles à trous de 5 millimètres. Il se forme ainsi deux espèces de minerai broyé. Il y a deux systèmes de cylindres superposés. Le premier reçoit le minerai venant de l'atelier de cassage, puis celui-ci tombe sur le tamis ; les morceaux qui n'ont pu passer à travers les trous vont sur le deuxième système de cylindres qui les broient de nouveau. Ils passent ensuite sur un deuxième tamis à secousses, et les morceaux que celui-ci rejette comme trop gros sont reportés pour passer de nouveau sur les premiers cylindres.

Les deux espèces de minerai sont ensuite travaillées sur les deux mêmes tamis ronds, dont j'ai parlé à propos du lavage, et la série des opérations et les produits sont exactement les mêmes que dans cette opération.

Ce travail, comme celui du bocardage, n'est qu'un véritable essai auquel on a dû avoir recours lorsque les minerais sont devenus trop pauvres dans la mine de Storvartz.

Travail au bocard. Le minerai le plus pauvre de ceux qui peuvent encore être traités est le minerai à bocarder. Dans un bocard, on a quatre batteries de quatre pilons chaque; ces pilons sont composés, comme d'habitude, de poutres équarries armées de sabots en fer, que l'on va bientôt changer en sabots de fonte par économie. Les sabots pèsent $29^k,8$. Les sabots ont $0^m,20$ de quarré et agissent dans une auge qui a $0^m,30$ de large et $0^m,35$ de profondeur. Le minerai est placé dans ces auges avec de l'eau et l'on continue à faire agir les pilons jusqu'à ce qu'il soit suffisamment bocardé, puis on l'enlève et on le remplace par d'autre. On n'a pas comme dans les bocards bien montés de courants d'eau qui entraîne en coulant continuellement les parties assez fines, ce qui rend les opérations beaucoup plus faciles et plus promptes.

La matière retirée du bocard est travaillée sur des tables connues en Allemagne sous le nom de *handerde*. Ce sont de grandes tables inclinées de 5 ou 6 degrés seulement de 2 mètres de largeur et de $2^m,56$ de longueur, avec une tête plus inclinée triangulaire et avec des taquets de bois qui divisent le courant d'eau qui tient la matière en suspension, et le répartit également sur toute la largeur de la table. La matière en suspension se dépose alors par ordre de densité sur la table, et par conséquent le plus riche vers la tête de la table. L'ouvrier travaille continuellement avec un long râble en bois très-large : il ramène légèrement la matière vers le haut. On continue de même jusqu'à ce que la table soit pleine; elle a en haut à peu près $0^m,25$ de profondeur et en bas $0^m,10$. La matière est mise en suspension dans

une caisse placée au-dessus de la table. La caisse est une pyramide quadrangulaire renversée ; on fait couler de l'eau dans cette caisse, et celle-ci en traversant le minerai l'entraîne à travers l'orifice inférieur de la caisse.

Quant au travail sur les tables, il m'a été très-difficile de m'en rendre compte, vu qu'il était excessivement irrégulier et entièrement livré à des enfants qui en sont chargés.

On ne travaille à la laverie, aux ateliers des cylindres broyeurs et au bocard qu'en été, à moins que l'on n'ait absolument besoin de minerais.

En 1851, on occupait dans la mine de Storvartz les nombres d'ouvriers suivants :

Ouvriers mineurs.	82
Ouvriers pour le transport du minerai et de l'eau.	17
Ouvriers pour les préparations mécaniques. . . .	30
Total.	129

La production générale de l'année a été de 5.485 mètres cubes de minerai extrait au jour (on peut compter sur un poids de 19^{qm},43 par mètre cube). Les préparations mécaniques, cassage, lavage, bocardage, etc., ont produit les quantités suivantes de minerai bon à envoyer à l'usine pour y être fondu :

	q. m.
Minerai ordinaire.	23.580
Minerai douteux, pour mémoire, 4.329 q. m. .	»
Minerai lavé.	6.688
Minerai lavé au tamis.	2.008
Schlich du graben.	621
Schlich du bocard et des cylindres.	541
Total.	33.438

Pour produire ces diverses espèces, on a payé aux ouvriers pour main-d'œuvre, matériel déduit :

	liv.
Pour abatage.	30.813,62
Pour transports.	16.965,24
Pour divers ouvrages. . . .	8.463,00
Pour le cassage.	8.027,09
Pour le lavage.	5.783,07
Pour lavage au tamis. . . .	905,10
Pour le bocard.	1.420,49
Total. . . .	72.377,61

Mais ce n'est là qu'une partie des dépenses : il faut y ajouter toutes les dépenses de matériel, les appointements des contre-maîtres et des ingénieurs et la part qu'elles entraînent de frais généraux. La somme générale des dépenses de l'exercice 1851 montait pour la mine de Storvartz, à 94.024 francs, ce qui mettait la valeur de chaque quintal de minerai bon à fondre à 2f,81. L'année précédente le minerai avait coûté par quintal métrique 3f,6.

Mine de Mug. La mine de Mug, qui est la plus éloignée de Roraas, est celle qui ressemble le plus à la mine de Storvartz. C'est la moins riche des trois et celle qui a donné le moins de minerai dans tous les temps; mais elle est toujours régulière, et on peut compter d'une manière certaine sur son produit, ce qui est énorme pour une compagnie qui n'a pas de mines plus considérables que celles des environs de Roraas. Son minerai est en outre très-avantageux à fondre; son exploitation en est facile et sa préparation mécanique est moins compliquée que celle du minerai de la mine de Storvartz.

Géologie. Le gîte de Mug est dans un terrain qui offre une grande constance ; depuis l'entrée de la mine jusqu'au fond, en dessus comme en dessous de la partie métallifère, il est toujours le même. Ce terrain se compose d'un schiste chloriteux d'un gris verdâtre, passant quelquefois au brun, d'un grain assez fin et assez uni-

forme dans toute l'étendue de la mine. Ce schiste est en général assez feuilleté; cependant il devient quelquefois presque compacte, et certains morceaux présentent complétement l'aspect de la grauwacke. On trouve mélangé au schiste du talc disposé en lits, qui donne alors à la cassure un aspect argenté remarquable. La chlorite, outre qu'elle est disséminée dans la roche elle-même, forme souvent des veines compactes à travers toute la masse.

Le quartz forme également de grands filons; mais il se trouve aussi disposé quelquefois en lits entre les couches, de telle sorte que l'on a alternativement des lits de quartz et des lits de schiste chloriteux. Cependant il n'en existait qu'un seul exemple dans la mine et c'est le seul qu'on y ait encore vu. Le quartz qui s'est introduit dans la masse des schistes est antérieur au minerai, car ici comme à la mine de Storvartz ces masses de quartz sont quelquefois fendillées, et alors dans les fentes on trouve du minerai de cuivre : mais il jouit, par rapport à la pyrite de fer et aux autres matières étrangères ordinairement mélangées à la pyrite de cuivre, de la même action répulsive que j'ai déjà signalée.

Les couches sont aussi souvent contournées; mais ce phénomène n'a lieu qu'en petit dans la mine de Mug. On ne peut signaler que des ondulations générales des couches dans le sens où elles se sont déposées, et encore ces ondulations pourraient bien être occasionnées par les gros rognons de quartz, autour desquelles le terrain semble replié. On trouve bien aussi dans certains morceaux de minerai des portions de chlorite feuilletée formant des replis très-petits et très-anguleux; mais ils proviennent sans aucun doute de l'action du minerai lui-même lors de son introduction : il aura

sans doute alors contracté les parties des couches les plus flexibles.

La direction générale des couches est O.-S.-O., E.-N.-E. avec pendage vers le N.-N.-O. d'environ 7 ou 8 degrés seulement : mais ces couches ont été un peu dérangées de leur position primitive par un phénomène de dislocation suivant une direction du N.-O. au S.-E. et avec une inclinaison vers le N.-E. de 30 ou 40 degrés. Suivant cette direction, il s'est produit une grande fente dans le terrain, qui a fait glisser les couches supérieures, de sorte qu'elles se trouvent interrompues par une grande faille. Mais cette faille a cela de remarquable, qu'après que la cassure s'est produite, les roches ont glissé les unes sur les autres sans se briser, de telle sorte que l'intervalle de la fente n'est pas remplie de matières broyées, comme cela a lieu en général. Les deux parties en coulant l'une sur l'autre se sont polies et se joignent aujourd'hui sans laisser aucun interstice vide. Si l'on considère en outre le rejet des couches, on voit qu'elles sont moins rejetées du côté du sud que du côté du nord. Il semble qu'après la production de la faille le glissement des parois n'a pas eu lieu suivant la ligne de plus grande pente, mais bien en tournant autour d'un point central situé vers le sud, de telle sorte que les parties plus éloignées vers le nord sont plus rejetées que celles vers le sud. Ce phénomène est excessivement visible dans toute la mine, et l'on n'a qu'à la parcourir d'un bout à l'autre pour s'assurer de cette différence de glissement par l'inspection des parois de la faille.

Au milieu de toutes ces couches le minerai forme comme d'habitude des infiltrations qui affectent tantôt la forme de rognons en chapelets, tantôt celles de petites veines d'une certaine longueur. Le minerai affecte

ici une manière d'être qui le fait immédiatement reconnaître. Nous retrouverons cette même apparence à la mine de Kongens, mais moins prononcée, et du reste avec une différence qui permettra de distinguer le minerai de cette mine de celui de la mine de Mug. Le minerai, sauf le cas où il est mélangé au quartz hyalin, est toujours mélangé à de la pyrite de fer massive, et le mélange est tellement intime qu'il est souvent très-difficile de reconnaître la présence du cuivre dans des morceaux qui en tiennent cependant des quantités très-notables. La pyrite de fer est toujours à grains fins et varie un peu de couleur en raison de la quantité de cuivre qui s'y trouve renfermé; mais jamais l'on ne trouve de cristaux de pyrite de fer qui sont très-abondants à la mine de Kongens comme nous le verrons plus loin.

La pyrite de fer contenant du cuivre est donc le véritable minerai que l'on distingue à l'œil dans le gîte de Mug. Son introduction dans les couches a été accompagnée d'un phénomène de dislocation plus violent que dans les autres mines; car le minerai proprement dit est toujours composé de masses de pyrite de fer entourant de petits rognons ou des petites veines de chlorite. Il présente donc l'apparence d'un poudingue à noyaux de chlorite avec un ciment de pyrite de fer. Cette apparence est constante et on ne trouverait pas dans les halles un seul morceau d'un volume un peu considérable qui ne l'affecte pas : c'est cette apparence qui, jointe à l'absence de cristaux de pyrite de fer, distingue ce minerai de ceux des autres mines du district de Roraas.

Gangues.

La pyrite de fer est donc avec la chlorite la gangue habituelle du minerai de la mine de Mug. Quant aux autres matières, ce ne sont que des exceptions. On n'a

jamais trouvé de calcaire ; le quartz ne s'y trouve qu'en rognons très-peu abondants, sauf les gros rognons, mais qui sont très-peu imprégnés de matière minérale. Cette composition du minerai exigera par conséquent pour le traitement du minerai des grillages plus énergiques que ceux que nécessitaient les minerais de la mine de Storvartz. Ce minerai est entièrement fondu à l'usine de Dragaas.

La forme de la partie de la roche qui se trouve imprégnée de matière minérale est, comme à la mine de Storvartz, plus longue que large ; car aujourd'hui les travaux sont déjà à plus de 800 mètres vers le N.-N.-O., tandis que la largeur n'a jamais dépassé 100 à 120 mètres dans les meilleures parties. L'épaisseur varie depuis $1^m,50$ jusqu'à 2 mètres dans les parties où il n'existe pas de ces gros rognons de quartz dont j'ai parlé ; car dans certains endroits ils étranglent la masse métallifère jusqu'à lui laisser à peine une épaisseur de $0^m,50$.

Résultats du travail pour 1851. Pendant l'année 1851 on a employé dans les travaux de la mine le nombre d'ouvriers suivants :

Ouvriers mineurs	28
Ouvriers pour les transports	4
Ouvrages pour le cassage et le lavage	13
Total	45

On a abattu une quantité de minerai de 2.035 m. c. Cette quantité de minerai soumise à la préparation mécanique a donné les quantités suivantes :

	q. m.
Minerai ordinaire bon à fondre	10.834
Minerai douteux, pour mémoire, 1.143 q. m.	»
Minerai lavé	3.250
Minerai venant des tamis	497
Schlich des tamis et du graben	752
	1.333

On a payé aux ouvriers pour main-d'œuvre, matériel déduit, les sommes suivantes :

Pour l'abatage.	12.710,23
Pour les transports.	6.947,78
Pour divers travaux.	1.607,29
Pour le cassage.	3.400,33
Pour le lavage.	3.026,89
Pour le lavage au tamis et au graben. . .	401,14
Total. . .	28.093,66

D'après le système de comptes que j'indiquerai plus tard, on n'a plus pour cette année qu'une dépense de 22.517f,80, ce qui charge chaque quintal métrique de minerai bon à fondre d'une somme de 1f,46. L'année précédente, le minerai avait coûté 3f,19, prix élevé qui explique la diminution que l'on a fait subir aux dépenses dans les comptes.

La mine de Kongens est située au nord de Roraas ; elle diffère entièrement des deux autres mines dont j'ai parlé jusqu'ici, non par la nature du gisement, mais par son allure. Elle est située plus haut que la mine de Storvartz, et à peu près à la même hauteur que la mine de Mug. Toutes les montagnes sont recouvertes d'un terrain de transport composé de pierres roulées de toute espèce. Parmi celles-ci j'en ai trouvé un grand nombre d'une roche dioritique en tout semblable à celle de la baie de Rooscord; mais je n'ai pu découvrir où cette roche était en place. Ce serait encore là une preuve de plus de la similitude de ces deux terrains. La terre qui recouvre ce terrain de transport est une terre tourbeuse, et dans tous les enfoncements on a de petits lacs où les eaux des neiges viennent se rassembler. On retrouve également sur les roches les sulcatures produites par les blocs erratiques, et dirigées N.-E., S.-O. Les terrains environnants sont encore des schistes chloriteux passant au schiste micacé. Tantôt ce

Mine de Kongens.

schiste a une cassure miroitante et se replie sur lui-même, tantôt il devient terne et passe à un schiste plus micacé. Ces deux espèces de roches ne tiennent jamais de quartz qu'en gros filons d'un quartz hyalin blanc opaque, qui forme quelquefois des druses, mais sans cristaux. Ce quartz semble contemporain du schiste lui-même, mais on en trouve aussi dans certains points qui affecte une forme cristalline, et alors ce dernier serait postérieur au schiste. Les couches prennent aussi quelquefois un aspect différent; elles deviennent compactes, d'une couleur brune ou verte; mais alors on y trouve toujours entre les lits compactes des petits lits de quartz grenu très-fin un peu cristallin et mélangé à une petite quantité de mica. Ces assises sont d'une couleur presque blanche : il en résulte alors une roche présentant une alternative de raies blanches et presque noires, qui en rendent l'aspect d'autant plus singulier que les couches forment toujours des replis et ne sont jamais planes.

Toutes les couches sont dirigées du N.-N.-E. au S.-S.-O., avec pendage au S.-E. de 30 à 40 degrés; mais cependant cette direction n'est pas parfaitement constante, et les couches ont en masse, d'un bout à l'autre de la mine, un contournement sensible qui ramène leur direction vers S.-O. avec pendage au S.

Cette mine présente une particularité très-rare dans les mines de ce district : c'est d'avoir des espèces de salbandes, si l'on peut donner ce nom aux deux parois qui limitent constamment la partie métallifère. Au toit du minerai, on trouve une roche composée d'un quartz à grains fins et de parcelles de mica disséminées dans la masse d'une manière irrégulière. Ce quartz forme de gros rognons qui s'emboîtent parfaitement les uns contre les autres, et qui ont en des-

sus comme en dessous une surface lisse, comme si les couches inférieures et supérieures avaient glissé sur ce toit et l'avaient poli. Ce même phénomène se retrouve dans toute l'étendue de la mine, mais cependant il n'est pas partout aussi prononcé. Il est difficile de deviner l'origine de cette roche; cependant ils proviennent peut-être de la concentration de la matière quartzeuse autour de certains points, après un ramollissement général des roches. Au-dessus de ces masses la roche reprend son aspect habituel. Au mur du gîte on a une matière qu'au premier abord et dans beaucoup d'endroits on prendrait pour une couche de schiste talqueux, mais ce n'est qu'une matière décomposée qui a formé une argile qui occupe tout le mur de la partie métallifère et lui sert partout de limites. L'épaisseur de cette couche d'argile est très-variable; dans certains endroits elle a près d'un mètre, dans d'autres seulement quelques centimètres.

Ce fait de deux salbandes ainsi marquées est unique dans son genre pour les mines de Roraas; on n'en trouverait pas d'autre exemple dans aucune des exploitations qui ont été ouvertes jusqu'à ce jour. Ce n'est donc qu'un accident; car si ce phénomène était en relation avec l'origine du dépôt cuivreux, on le retrouverait dans les autres mines, qui ont trop de points de ressemblance avec celle-ci pour n'avoir pas la même origine.

Dans les schistes dont j'ai parlé, on trouve, comme à la mine de Storvartz, des matières chloriteuses qui ont imprégné la masse; elles ont également, dans cette mine, précédé l'apparition du minerai, puisque celui-ci l'a broyé en s'infiltrant au travers. Le minerai forme donc, comme à la mine de Mug, un mélange de matière chloriteuse et de pyrite de fer et de cuivre.

Minerai. Le minerai forme également des nodules disposés en chapelets, ou des petites veines plus ou moins grosses; mais ici le minerai est composé de pyrite de fer magnétique imprégnée de pyrite de fer cuivreuse que l'on ne peut distinguer à l'œil, et que l'analyse seule peut faire reconnaître. On trouve également des morceaux de quartz imprégnés de pyrite cuivreuse pure; mais en général les gangues principales sont la pyrite de fer et la chlorite. Dans cette mine, la pyrite de fer a une apparence toute particulière; car elle est presque toujours cristallisée, et les cristaux forment une masse compacte en s'enchevêtrant les uns dans les autres. La mine de Rougens est la seule de tout le district où l'on ait trouvé des cristaux. Ces cristaux sont toujours des cristaux primitifs. Tantôt on peut les avoir complets, tantôt ils portent des angles rentrants provenant de la pénétration d'autres cristaux; cependant ils sont en général cimentés les uns aux autres, soit par la pyrite non cristallisée, soit par la pyrite de cuivre.

Les minéraux accessoires sont très-rares et très-peu nombreux : on n'a jamais trouvé d'asbeste ni de grenats en gros cristaux avec de la chlorite, mais on a trouvé quelques petites veines de grenats en petits cristaux; ils se trouvent dans le schiste le plus quartzeux, et y forment une petite couche.

J'ai vu dans une druse du carbonate de chaux cristallisé en rhombes, mais on m'a assuré que c'était le premier exemple que l'on en avait.

La partie de la roche qui est imprégnée de minerai a une forme toute différente de celle de Mug et de Storvartz; elle est en effet plus allongée que large, et sa plus petite dimension correspond à la ligne de plus grande pente des couches. Ainsi, dans l'endroit où la veine vient affleurer, on a une largeur de 90 à 100 mè-

tres. Cette largeur augmente ensuite un peu, et va à 120 mètres quand on se dirige vers l'est. Aujourd'hui les travaux sont avancés, suivant la direction, sur une longueur de plus de 1.200 mètres, et le minerai continue sans aucun changement; il s'enrichit plutôt en pyrite de cuivre.

Pendant l'année 1851, on a eu dans la mine de Kongens le nombre d'ouvriers suivant : Résultats pour l'année 1851

Ouvriers mineurs.	30
Ouvriers pour les transports.	9
Ouvriers pour la préparation mécanique.	14
Total.	53

La quantité de minerai extraite a été de 1.855^{mc},08. Cette quantité soumise à la préparation mécanique a donné les quantités suivantes de matières bonnes à fondre.

	q. m.
Minerai ordinaire.	10.652,00
Minerai douteux, pour mémoire, 353 q. m.	»
Minerai lavé.	1.552,61
Minerai venant des tamis.	272,09
Schlich des tamis du graben.	159,00
Total.	12.635,70

Les dépenses pour main-d'œuvre, matériel usé déduit, ont monté :

	liv.
Pour l'abatage à.	14.189,96
Pour le transport à.	9.287,74
Pour divers à.	2.324,19
Pour le cassage à.	4.170,51
Pour le lavage à	2.994,04
Pour le lavage au tamis et au graben à.	578,67
Total.	33.544,00

Mais d'après le système de comptes adopté, les dépenses sont de 37.083^{f},20, ce qui donne par quintal métrique de minerai bon à fondre une somme de 2^{f},93; l'année précédente, le minerai était revenu par quintal métrique à 2^{f},67.

Résumé général sur le mode de gisement des mines de ce district.

D'après ce qu'on vient de lire sur la mine du district de Roraas, on hésiterait peut-être à se prononcer sur leur gisement. Ce n'est qu'en les comparant avec d'autres mines qu'on peut en avoir une idée plus nette. En effet, dans ces mines, on ne voit qu'une dissémination sur une étendue plus ou moins considérable d'une matière minérale composée de pyrite de fer et de pyrite de cuivre mélangées, disposée en rognons reliés les uns aux autres et variant de grosseur et de forme; on a vu aussi qu'à proprement parler l'on n'a pas de salbandes, et que ce qu'on peut prendre pour tel dans l'une des mines n'est qu'un accident, dont on ne doit rien conclure. Les limites du gîte ne sont pas marquées d'une manière précise; mais il cesse par absence de dissémination de matière minérale dans la roche et sans règle fixe.

Mais si l'on examine les mines de cuivre de l'Åres Kuttan, on y trouve une dissémination de la matière minérale de pyrite de fer et de cuivre intimement mélangée dans une roche quartzeuse. Cette dissémination a lieu suivant certaines directions sans que la roche ait subi la moindre altération, ni qu'aucune autre matière y ait pénétré en même temps. L'infiltration s'est faite de telle manière que la matière minérale a rempli pour ainsi dire tous les pores de la roche et s'y est condensée. On serait tenté d'admettre la coexistence de la matière minérale avec la roche si la direction suivant laquelle elle est ainsi imprégnée n'était pas différente dans tous les sens de la stratification des couches.

Si d'un autre côté on considère le gisement de Fahlun, on trouve une masse énorme de pyrite de fer mélangée de pyrite de cuivre intercalée entre les couches de gneiss et accompagnée de ces veines chloriteuses que l'on nomme en Suède des *skolärs*, et qui semblent exercer une

influence sur la richesse du gîte. Si on s'écarte de l'énorme rognon de la mine de Storgouva, on trouve les terrains environnants imprégnés de matières métallifères, de telle sorte qu'ils sont encore très-exploitables et présentent un aspect semblable à celui des terrains des mines de l'Åres Kuttan.

Si on considère ces trois districts de mines de l'Åres Kuttan, de Roraas et de Fahlun tous ensemble, on a tous les degrés de changement du même gisement. D'abord la roche est simplement imprégnée de matières minérales en grains très-fins sans aucun mélange d'autres matières étrangères ; puis on trouve le minerai en petits rognons et en petites veines plus ou moins continues jointes à une matière chloriteuse ; enfin on a une énorme masse de minerai en un seul rognon qui semble représenter par sa forme et par son accolement avec les veines chloriteuses un des petits rognons de Roraas grossi d'une manière énorme, et pour rendre l'analogie plus frappante encore des parties où la roche affecte exactement la même allure que dans celle de ces mines qui forme le premier degré de cette échelle.

Mais pour comparer les gîtes de la Norwége et de la Suède, et tirer de leur examen une conséquence sur leur nature, il ne faudrait pas s'en tenir aux mines de cuivre. Les mines de fer ont trop de points de ressemblance avec elles pour qu'il ne faille pas en tenir compte : mais de pareilles considérations m'entraîneraient trop loin pour que je veuille les aborder dans ce travail. Cependant, je ne veux pas terminer ce qui regarde les mines sans dire combien je suis de l'avis de tous ceux qui ont assimilé les gîtes de la Suède et de la Norwége aux gîtes de Kongsberg, et leur ont donné le nom de gîtes en salbandes, nom consacré depuis longtemps pour ces mines. En effet, ces immenses masses

de terrain, où se trouve l'argent natif, et qui sont imprégnées de pyrite de fer, présentent une apparence identique avec les roches métallifères de l'Åres Kuttan; car on a ici encore une dissémination de matières pyriteuses à travers les couches du terrain sans dérangement aucun dans celles-ci.

Avant d'arriver à la description des usines et du procédé métallurgique en usage à Roraas, je vais dire quelques mots sur la manière de faire les essais.

Manière de faire les essais.

Dans le district de Roraas on ne fait pas en général, à proprement parler, ce que l'on appelle d'ordinaire des essais; car les essais par la voie humide opérant sur de petites quantités sont excessivement rares; ils sont en effet assez longs, et l'inspecteur des usines n'a pas beaucoup de temps à y donner. On n'en fait que sur trois espèces de matières : 1° la matte de première fusion, 2° les scories de première fusion, 3° les scories de deuxième fusion.

Les essais pour la matte ont lieu sur 4g,6 pris dans une grande masse de mattes réduite en poudre; ceux pour les scories ont lieu sur 11g,5, pris également dans une grande quantité de matière pulvérisée. Ces essais se font par les méthodes ordinaires, et je n'ai rien à en dire de plus.

De temps en temps, pour vérifier la marche des fourneaux et pour vérifier la manière dont s'opère le lavage et le triage du minerai, on fait des campagnes plus soignées avec le minerai ordinaire et avec du minerai douteux que l'on se fait envoyer des mines. La fonte du minerai douteux a lieu dans un fourneau à manche, qui suffit pour donner le rendement en mattes de ce minerai, que l'on a préalablement grillé. Quant au minerai ordinaire, les campagnes de vérification ont lieu dans les hauts-fourneaux eux-mêmes; on soigne cette

campagne, et on obtient le rendement en mattes. On ne fait ainsi que contrôler le travail des ouvriers, puisque les essais se font dans les mêmes fourneaux et de la même manière que la fonte ordinaire. C'est un inconvénient de ne jamais se rendre compte de la perte réelle en cuivre; mais le procédé une fois admis pour bon, ce mode d'essai est parfaitement suffisant.

Voici les résultats des analyses faites en 1851 sur les trois espèces de matières qui y sont d'ordinaire soumises :

MOIS.	MATTES de 1re fusion. — 0/0 de cuivre.	SCORIES de 1re fusion. — 0/0 de cuivre.	SCORIES de 2e fusion. — 0/0 de cuivre.
1er mois	19,525	0,8	1,18
2e mois	12,825	0,4	0,7
3e mois	22,500	0,23	1,05
4e mois	22,500	0,4	0,72
5e mois	19,600	0,48	1,34
6e mois	»	0,32	0,59
7e, 8e, 9e et 10e mois	19,250	0,270	1,2
11e mois	17,750	0,440	0,900
12e mois	20,500	0,320	0,940
13e mois	19,500	0,280	1,000
Moyenne de l'année	19,328	0,394	0,963

Considérations générales sur les usines.

Les quatre usines du district qui relèvent de la direction de Roraas sont établies : 1° à Roraas; 2° à Eidet ou Dsagaas, à 36 kilomètres de Roraas; 3° à Tolgen, à 36 kilomètres de Roraas; 4° à Lovize, à 84 kilomètres de Roraas et 48 kilomètres de Tolgen. On a dispersé ces usines dans le pays, comme je l'ai déjà dit, de manière à profiter des ressources qu'il offre tant en hommes qu'en matières premières, telles que bois, charbons, etc., et en tâchant de compenser la distance à laquelle il faut transporter le minerai par l'avantage de ne pas revenir à vide. Ainsi l'usine de Lovize, placée si loin de Roraas, est entourée de forêts; car elle n'est plus sur le

plateau nu et aride de Roraas, et bien au-dessus de la limite de la croissance des pins : elle a donc à sa portée tout le charbon qui lui est nécessaire, et elle peut même en envoyer aux usines de Tolgen et de Roraas, qui en manquent.

Chaque usine fond d'habitude les mêmes minerais. Ainsi l'usine de Roraas ne fond que des minerais de la mine de Storvartz ; à Eidet on ne fond que ceux des mines de Mug et de Rougens ; à Tolgen et à Lovize, on fond les minerais de la mine de Storvartz et les résidus de quelques vieilles mines situées dans les environs. Cependant cette répartition n'est pas absolue, et on déroge quelquefois à cette règle.

Les prix de transport des minerais des mines aux usines sont réglés par l'administration, qui fait afficher ces prix, et elle trouve toujours des paysans qui les acceptent. Pour l'année 1851, on les avait réglés de la manière suivante :

	liv.		
De la mine Storvartz à Roraas.	0,232	par quintal	métrique.
De Roraas à Tolgen.	0,408	—	—
De Tolgen à Lovise.	0,641	—	—
De la mine de Kongens à Eidet.	0,641	—	—
De la mine de Mug à Eidet. .	0,50	—	—

Ces prix de transports une fois réglés, on a pu pendant la même année se procurer des charbons aux prix moyens de 1f,647 par mètre cube pour prix d'achat, et 0f,77 par myriamètre parcouru depuis le point où il est fabriqué jusqu'à l'usine. En 1851, les moyennes des valeurs du mètre cube de charbon rendu aux diverses usines ont été : de 4f,94 à Roraas, de 3f,29 à Eidet et à Tolgen, et de 2f,74 à Lovise.

Le bois de grillage, composé de pins ou de sapins, revient généralement à 0f,93 le stère : on ne peut pas employer pour le grillage du bois de bouleau ; il brûle trop vite et n'allume pas bien les minerais.

Quant à la main-d'œuvre, les mines de Roraas ont rassemblé autrefois assez de familles dans ces contrées, malgré la dureté du climat, qu'elles n'ont aucune crainte à avoir de manquer de bras. Elles pourraient sans difficulté reprendre leur ancienne splendeur, et occuper de nouveau plus de 1.500 ouvriers. La main-d'œuvre n'y est pas trop chère : un ouvrier ordinaire s'y paye par journée de douze heures, en moyenne, 1f,12 ; les fondeurs, qui sont les mieux payés, reçoivent 1f,82 par jour. Ce sont certainement là des prix très-modérés pour la Norwége.

Les usines chôment toujours deux mois par an, afin de laisser tous les bras aux campagnes ; car si le climat ne permet pas la culture des céréales, il faut cependant récolter les foins nécessaires à la nourriture des bestiaux pendant les longs mois d'hiver.

Ces usines, comme on le voit, ne se trouvent pas dans des positions trop défavorables, et bien des usines de Suède et de Norwége leur envieraient leurs conditions. L'usine de Roraas étant celle que j'ai visitée avec le plus de soin, et où je pouvais avoir le plus facilement des renseignements positifs, je la prendrai comme type des autres usines, et je n'indiquerai pour les autres usines que les différences qui pourraient exister et les résultats de leurs opérations.

L'usine de Roraas est bâtie sur les bords d'un torrent dont les eaux vont se joindre, à quelque distance de là, à celles de la Gloumen. Ce torrent, qui coule très-rapidement, s'est creusé un lit à travers les terrains de transport jusqu'à la roche vive, en formant sur les deux côtés deux pentes douces. On en a profité pour établir l'usine à mi-côte, de manière à avoir d'un côté les chutes d'eau tout près de l'usine, et de l'autre côté d'avoir les gueulards des fourneaux au niveau du sol. **Disposition.**

L'usine se trouve donc placée directement contre le torrent, et le mur qui soutient son sol est battu par ses eaux.

Dans un même hangar on a deux doubles hauts-fourneaux dont l'ouverture des creusets est située du côté de la rivière, et qui sont adossés de l'autre côté au sol environnant, de manière que les chariots qui apportent le minerai viennent se décharger sur les gueulards, qui sont à environ 2 mètres en contre-bas du sol. Deux escaliers conduisent des gueulards au sol de l'usine, et en outre, entre les deux fourneaux, on a ménagé une rampe en pente douce, par laquelle on peut venir prendre avec des charrettes les scories et les autres matières à élaborer dans d'autres parties de l'usine. Sous les planchers des gueulards on trouve tous les appareils de soufflerie.

A l'une des extrémités de ce même hangar on a placé une nouvelle machine soufflante mue par une roue hydraulique. Cette machine, composée de corps de pompes cylindriques en fonte, avec pistons métalliques mus par des balanciers, est bien préférable aux vieux soufflets à mouvement angulaire que l'on a encore à l'autre extrémité de l'usine, et qui, au besoin, pourraient encore servir en cas de rupture de la nouvelle machine. Derrière chaque fourneau est une caisse en bois où les tuyaux apportent le vent, et c'est à cette caisse que l'on joint, au moyen de tuyaux en cuir, les buses en cuivre des fourneaux.

Dans le même hangar, près de la vieille soufflerie, on trouve les deux foyers de raffinage et un magasin pour les rosettes.

Du même côté du torrent, à 10 mètres environ en amont de ce premier bâtiment, on a placé la halle de grillage des mattes; de l'autre côté, en face de l'usine,

on a la halle à charbon, qui se trouve jointe aux gueulards des fourneaux par un pont jeté au-dessus du torrent; le transport du charbon est donc très-facile. La halle est adossée aux grands dépôts de scories, qui lui servent d'un côté de muraille naturelle et de rampe pour les voitures pour arriver jusqu'en haut de la halle et y verser leur charbon. Cette halle est dans un enclos où l'on dépose également le bois de grillage pour qu'on ne le vole pas. Du même côté, en amont, on trouve une grande surface de terrain où l'on opère le grillage des minerais.

Tous les bâtiments de l'usine se trouvent ainsi agglomérés dans un espace très-circonscrit, de manière à rendre les transports le moins coûteux possible. Je vais maintenant parler des principes sur lesquels on s'appuie pour traiter les minerais de cuivre.

Le minerai est de la pyrite de cuivre mélangée de pyrite de fer, sans mélange du moins appréciable d'autres espèces de minerai de cuivre. Le traitement général de pareils minerais se compose de cinq opérations principales : 1° grillage du minerai, 2° fonte pour mattes, 3° grillage de la matte, 4° fonte pour cuivre noir, 5° raffinage du cuivre noir. En effet, le minerai se trouvant en général mélangé d'une grande quantité de pyrite de fer, il faut faire nécessairement précéder la première fonte d'un grillage qui chassera une partie du soufre et oxydera le fer, du moins en partie; car si on ne grillait pas préalablement le minerai, on n'obtiendrait par la fonte qu'un produit qui serait à peine plus riche que le minerai : au lieu que celui-ci étant grillé, en y ajoutant de la silice, celle-ci formera avec une partie du fer une scorie, et d'un autre côté, le soufre restant concentrera tout le cuivre et une partie du fer dans un produit nommé matte, qui par son poids

Mode de traitement.

Théorie.

seul se séparera du silicate ferreux ou scorie, qui est beaucoup plus léger que lui. On doit donc griller le minerai, mais cependant pas au delà d'une certaine limite; car il ne faudrait pas enlever tout le soufre combiné à la pyrite de fer : en agissant ainsi, on risquerait de faire passer dans la scorie de la fonte pour matte une partie du cuivre.

Le minerai grillé se compose de pyrites de fer et de cuivre non altérées, et de gangues de différentes espèces. Si ces gangues sont siliceuses, on n'aura rien à ajouter; si elles sont basiques, il faudra ajouter de la silice en quantité suffisante non-seulement pour scorifier le fer, mais encore pour scorifier les bases qui forment la gangue du minerai. La fonte donnera donc un produit sulfureux séparé des scories, et contenant tout le cuivre : on aura par ce moyen considérablement réduit le poids de la matière qui renferme le cuivre: aussi nomme-t-on en général cette opération une fonte de concentration.

Le produit sulfureux qui contient tout le cuivre ayant, sauf une certaine quantité de fer et toutes les gangues qui ne s'y trouvent plus, exactement la même composition que le minerai lui-même, on doit lui faire subir la même série d'opérations afin de concentrer encore le cuivre dans une quantité de matières moins considérable. On doit donc soumettre la matte à des grillages successifs, afin de chasser une partie du soufre et d'oxyder une portion du fer. Le nombre des grillages auxquels on doit soumettre la matte dépend de la concentration même du cuivre dans cette matte; car si elle était déjà très-riche, on ne devrait pas la griller trop énergiquement, dans la crainte d'oxyder une trop grande quantité de soufre : mais si les minerais tiennent de l'arsenic et de l'antimoine, ces matières, dans

le grillage du minerai, se seraient oxydées en partie; mais tout ce qui ne l'aurait pas été passera nécessairement dans la matte. Mais comme dans la fonte suivante il est utile de ne plus avoir, ou le moins possible, de ces matières, il faudra rendre le grillage plus énergique.

A ce grillage on devra faire succéder une nouvelle fonte d'après les mêmes principes que la première, qui concentrera le produit cuivreux dans une matte beaucoup plus riche que la première. Cette nouvelle matière sera ou une nouvelle matte ou du cuivre noir, c'est-à-dire une matière tenant plus de 80 p. 100 de cuivre, suivant que le minerai tiendra de l'arsenic et de l'antimoine ou n'en tiendra pas; car si l'on a de ces métaux, il sera impossible de les chasser complétement par une seule alternative de grillage et de fonte, il faudra nécessairement les répéter un certain nombre de fois, afin d'obtenir en dernier lieu une matte tenant plus de 80 p. 100 de cuivre.

Le cuivre noir est une matière déjà très-riche en cuivre, mais qui contient encore une petite quantité de matières étrangères généralement plus oxydables que le cuivre. Il faudra le soumettre à une dernière opération qui sépare ces matières du cuivre en les oxydant: c'est le raffinage, qui se compose d'une fonte, sous l'action du vent d'une tuyère, du cuivre noir. Les matières étrangères, sous l'influence du vent, s'oxyderont et passeront dans les crasses, en entraînant toujours une certaine quantité de cuivre. On aura alors un cuivre que l'on forme en rosettes, qui est assez pur, mais qui n'est pas généralement malléable, et a besoin d'un second raffinage pour passer à cet état.

Les minerais du district de Roraas étaient parfaitement propres à être soumis à ce genre de traitement;

et grâce à la simplicité de leur composition, il devait être très-facile d'arriver à en extraire le cuivre. Le minerai, en effet, est essentiellement composé de pyrites de fer et de cuivre, sans arsenic ni antimoine, et tient des quantités à peine appréciables de nickel et de cobalt. Il a en outre pour gangues des matières siliceuses, et ces gangues ne sont que mécaniquement mélangées au minerai. On pouvait donc y appliquer la formule générale du traitement, en réduisant les opérations au maximum de leur simplicité.

Le traitement des minerais du district de Roraas se composera donc d'abord d'un grillage dans lequel on cherchera à chasser une partie du soufre. On profitera d'un phénomène très-utile que présentent en général les minerais où les sulfures métalliques ne sont que mécaniquement mélangés aux autres gangues : ce phénomène est la concentration du sulfure contenant tout le cuivre en un noyau au centre des morceaux que l'on grille. On peut, grâce à ce phénomène, pousser le grillage plus loin que pour d'autres minerais sans crainte d'oxyder le cuivre; et dans la fonte que l'on fait succéder au grillage, les matières siliceuses se trouvant d'abord en contact avec le fer oxydé, on aura une scorie beaucoup plus pauvre. Du reste, pour avoir un grillage parfait, il est utile qu'il soit très-lent, et par conséquent que l'on opère sur de très-grandes masses à la fois.

Dans la fonte suivante, les minerais, grâce à leur composition, pourront être fondus directement sans addition d'aucune autre matière; car ils contiennent assez de silice pour scorifier tout le fer, et pas en quantité suffisante pour scorifier le cuivre. Cependant, je crois qu'il serait bon d'en ajouter encore; car on éviterait ces énormes dépôts ferreux qui se forment dans le fond des

fourneaux, et qui souvent arrêtent les campagnes et entraînent un peu de cuivre. Mais d'un autre côté, en n'ajoutant pas de silice, on obtient des scories assez pauvres pour pouvoir les jeter, et on pourra repasser dans les fontes les dépôts ferreux dont les quantités sont toujours très-restreintes.

Les mattes ne tenant ni arsenic ni antimoine, on pourra ne les soumettre qu'à une seule série de grillage et à une seule fonte pour les transformer en cuivre noir : on pourra en outre pousser le grillage assez loin et chasser presque tout le soufre, pourvu que dans la fonte on n'ajoute pas trop de quartz. La fonte donnera donc du cuivre noir; mais par cela même qu'on l'obtient plus promptement, il arrivera que certaines parties des scories seront assez riches, et l'on devra les repasser à la fonte pour en extraire le cuivre qu'elles renferment. Je n'ai pas besoin de dire que dans les deux fontes on devra toujours ajouter au lit de fusion un peu de scories pour aider les matières à entrer en fusion; ce n'est là qu'un détail d'opération. Pour simplifier le procédé, on fond dans la fonte pour cuivre noir les crasses du raffinage, et on évite ainsi de faire pour elles une opération à part.

Il ne restera plus qu'à raffiner le cuivre noir d'après un procédé en usage dans toute la péninsule scandinave.

Dans l'origine, pour produire ces diverses opérations après le grillage en plein air, faites d'abord sur de petites masses, et ensuite sur des masses plus considérables, on fondait le minerai dans des fourneaux à manche; mais pour diminuer la quantité de charbon qu'ils consommaient, on a adopté le système des hauts-fourneaux. Ce fut là un des perfectionnements les plus considérables qui ait été fait dans ce district, et qui fut

d'une très-grande utilité dans un pays si dépourvu de matières combustibles que le canton de Roraas. On a également substitué au grillage des mattes en tas et en plein air, le grillage dans des cases entourées de murs en maçonnerie, dans une halle couverte d'après le procédé de Fahlun. Pour le raffinage on a toujours employé la même méthode ; c'est celle connue sous le nom de méthode d'Avesta, et qui a commencé dans le district de Roraas avant d'être appliquée dans celui de Fahlun. On retrouve, du reste, encore la vieille méthode presque entièrement en vigueur à Åres Kuttan, et c'est dans ce district seul où l'on n'a presque rien changé aux anciennes opérations.

Je vais maintenant entrer dans la description plus détaillée des opérations, et donner pour chaque usine le prix de revient de chaque opération, en prenant pour base l'année 1851, qui diffère extrêmement peu de toutes les autres.

Grillage du minerai.

Le grillage a lieu, comme je l'ai déjà dit, en grands tas : ces grands tas allongés sont disposés sur deux couches de bois croisés et juxtaposés les uns aux autres. On étend dessus le minerai après l'avoir cassé en morceaux tous plus petits que le poing. Les tas ont généralement 20 mètres de long et 6^m,50 à 7 mètres de large ; on entasse le minerai sur une hauteur de 2^m,70. Avant qu'on ne mette en feu, le tas a à peu près dans sa section transversale la forme d'une demi-ellipse. Au milieu de la hauteur on place des bois inclinés vers le centre de l'ellipse : ils servent à activer le tirage si cela est nécessaire ; on n'a pour cela qu'à les enlever. Après avoir ainsi disposé le minerai cassé en gros morceaux, on recouvre le tout avec le minerai menu ou du schlich, ou bien avec les poussières recueillies dans les chambres de condensation des fumées. On met générale-

ment $0^{m},10$ à $0^{m},12$ de ces menus au-dessus du minerai en gros morceaux ; on évite ainsi un trop prompt grillage qui ne vaudrait rien. Il ne faut pas cependant que cette couche soit par trop épaisse, afin de laisser à l'air assez de tirage. Il est une autre précaution qu'il faut toujours avoir soin de prendre : c'est de ne pas mettre trop de bois ; car il en résulterait qu'au lieu d'un grillage il y aurait fusion, ce que cependant on ne peut guère éviter complétement.

La quantité de minerai qui est ainsi entassée dans un tas est généralement d'environ 2.400 quintaux métriques de minerai. Quand tout est prêt, on met en feu sur toute la longueur à la fois. Cela fait, on n'a plus qu'à veiller à ce que le tirage ait lieu convenablement. On ne doit pas laisser de trous s'ouvrir dans la couverture, et on doit régler le tirage au moyen des morceaux de bois que l'on a placés dans le minerai. Le grillage dure au moins deux mois ; s'il avait lieu plus vite, il serait probablement mauvais. Quand tout est bien grillé on laisse refroidir la masse, et on la reprend par l'une de ses extrémités.

Si l'on examine alors ce qui s'est passé dans le minerai, on aperçoit en bas généralement des parties à moitié fondues et coagulées qu'il faut casser : ces morceaux sont mal grillés, et la chaleur a été trop intense. Au-dessus le minerai a conservé sa forme en augmentant de volume. Si on casse les morceaux, on doit en trouver un grand nombre dont le centre soit occupé par un noyau de sulfure entouré d'oxyde de fer et de gangues : c'est là la preuve que le grillage est bon ; car il y a toujours une grande quantité de morceaux où le minerai est exempt de gangues intimement mélangées. A l'extérieur du tas on trouve le minerai fin, qui est généralement mal grillé, et souvent coagulé par le soufre

qui s'est évaporé et est venu se condenser dans cette couche.

Le minerai subit généralement une perte en poids de 4 à 6 p. 100 : ainsi, en 1851, les 21.672qm,76 que l'on a fondus ne pesaient plus que 20.716qm,60, ce qui donne une perte en poids de 4,41 p. 100.

On a généralement neuf ouvriers occupés à ce travail; ils reçoivent 1f,12 par jour.

Fonte pour matte. Le minerai grillé doit être soumis à la fonte pour matte bronze : c'est une véritable fonte de concentration du cuivre dans un produit intermédiaire. Le minerai ayant généralement pour gangues de la chlorite et des schistes argileux, fond facilement sans l'addition d'aucune autre matière. Le fer formera facilement avec la silice une scorie, et l'on n'a pas assez d'argile pour avoir à craindre que le cuivre soit scorifié, et d'ailleurs on laisse par le grillage assez de soufre pour qu'une pareille action ne soit pas à craindre.

Pour simplifier le procédé autant que possible, on emploie les mêmes hauts-fourneaux pour les deux fontes. Ces fourneaux ont une hauteur de 4m,70. Ils sont construits entièrement en pierres de schistes argileux. Seulement on fait toujours deux parties : l'une extérieure, qui dure très-longtemps et pour ainsi dire indéfiniment; l'autre intérieure, qu'il faut réparer presque à chaque campagne; mais cependant elle est bien moins attaquée que dans les fourneaux de Fahlun, car le minerai est plus fondant. On n'a guère, après chaque mise hors feu, qu'à refaire la paroi de contrevent au-dessus du creuset et une partie de la paroi des tuyères.

On a quatre de ces hauts-fourneaux à Roraas, associés deux à deux dans un même massif. Leurs parties supérieures ne sont pas faites de même. Dans les deux premiers, au-dessus des gueulards dont les ouvertures

se trouvent au-dessus des tuyères, on a une cheminée qui a $2^m,60$ au-dessus du gueulard, se recourbe et redescend dans une grande chambre de condensation où les poussières et les fumées vont se déposer. De cette chambre part un conduit qui va à l'extérieur de l'atelier dans une grande cheminée de 13 mètres de hauteur. Des passages de 1 mètre sont conservés entre chaque fourneau et la chambre de condensation qui est commune aux deux fourneaux pour pouvoir communiquer avec le derrière des fourneaux, où se trouve tout l'attirail du vent.

L'autre fourneau double a une chambre de condensation située au-dessus des gueulards et entre les deux fourneaux. Ce système est moins bon. On avait en outre établi dans ce fourneau des appareils pour chauffer le vent avec la flamme perdue, croyant en obtenir une amélioration dans le rendement, mais on en a obtenu au contraire de très-mauvais effets, et on l'a aujourd'hui complétement abandonné. Les appareils subsistent, mais ils ne servent plus.

Pour toute la partie inférieure les quatre fourneaux sont complétement identiques. Ils sont à deux tuyères séparées par une distance de $0^m,31$. Ils ont une largeur perpendiculairement à la direction du vent très-peu différente au niveau du gueulard et des tuyères; mais la largeur dans l'autre sens est assez différente. On a fait du reste de très-nombreux essais sur les meilleures dimensions à donner aux différentes parties, et l'on s'en est tenu aujourd'hui à celles indiquées dans les plans joints à ce mémoire.

La tuyère se trouve à $0^m,94$ au-dessus de la pierre de fond. On construit le creuset pour chaque opération. Pour cela on dispose à l'extérieur du fourneau trois plaques de fonte verticales formant les trois côtés d'un

demi-hexagone ; leur partie supérieure est à $0^m,31$ au dessous du niveau des tuyères. On remplit tout le fond du fourneau et l'espace compris entre les plaques d'un mélange d'argile et de charbon broyé que l'on tasse. On a soin de conserver une ouverture correspondante à la partie inférieure du fourneau pour la coulée de la matte. Dans la masse de charbon on creuse un espace vide de $0^m,469$ de profondeur, de sorte qu'il reste au-dessus de la pierre de fond une épaisseur de $0^m,161$. On a soin de placer la partie la plus profonde du creuset juste au-dessous de la paroi de contrevent. La couche de brasque qui se trouve au fond du creuset sert à préserver la pierre de fond contre cette masse de sulfure de fer et de fonte que l'on nomme en Suède un nez et en Allemagne un loup. Au-dessous de la partie fixe de la paroi de contrevent on construit une portion en pierres assemblées en voûte jusqu'à la surface supérieure du creuset, en ménageant une ouverture au milieu de $0^m,15$ à $0^m,20$ de diamètre pour servir à enlever les scories et à travailler dans le fourneau avec un ringard : les scories coulent sur un long rampant en pierre et s'y refroidissent ; on les y reprend pour les enlever ensuite.

On travaille toujours avec un nez obscur de $0^m,15$ à $0^m,22$ de longueur ; on protége ainsi beaucoup les buses et la paroi contre l'action corrosive des matières en fusion ; quant à ce qui est de la force du vent, on ne peut rien dire de bien exact à cet égard. Quand on n'avait que des soufflets à mouvement angulaire, on n'avait que des pressions très-faibles ; mais avec les machines actuelles on a une force plus grande : dans les expériences que l'on a faites, tantôt on trouve que le fourneau va mieux avec de faibles pressions, tantôt avec de plus fortes : chaque fondeur a là-dessus des idées très-différentes. Voici en général entre quelles

larges limites varient les pressions dans la marche ordinaire des fourneaux :

Dans une campagne de fonte pour mattes, la pression du vent fut en moyenne de $0^m,0156$ de mercure : le maximum fut $0^m,0210$, le minimum $0^m,0793$; dans une autre campagne la pression moyenne fut $0^m,0186$ de mercure, le maximum $0^m,0313$, le minimum $0^m,0062$. Dans une campagne de fonte pour cuivre noir, on eut pour moyenne de la pression du vent $0^m,057$ de mercure, le maximum fut $0^m,09$, le minimum $0^m,031$; dans une autre campagne la moyenne fut de $0^m,141$, le maximum $0^m,313$ et le minimum $0^m,005$. Tout cela ne tendrait qu'à prouver qu'une seule chose, c'est que les expériences ont été mal faites ; car il est impossible d'admettre avec une bonne allure constante de telles variations dans la pression du vent.

On a trois ouvriers à chaque fourneau par poste de douze heures, deux en haut pour charger et un seul en bas, le maître fondeur pour la conduite du fourneau. Les ouvriers chargeurs apportent eux-mêmes le charbon de la halle dans des vases tenant 170 litres ; le maître fondeur veille à la conduite du fourneau, a soin de tenir le trou de dessus du creuset débouché, en y tenant un morceau de charbon qui par sa combustion maintient l'ouverture libre ; il enlève les scories de dessus le rampant et les jette sur le sol de l'atelier. Il fait également les coulées, et est aidé pour celles-ci par un des ouvriers chargeurs ; il prépare le bassin de coulée et casse la matte quand elle est froide. Ces ouvriers reçoivent par douze heures, le maître $1^f,82$, les ouvriers $1^f,26$; mais ils doivent, pendant douze postes de douze heures, fondre au moins 573 quintaux métriques de minerai, sinon on leur fait une retenue.

Campagne. Quand un fourneau est réparé et prêt à commencer une campagne, on commence par le remplir jusqu'à la tuyère de charbon, et l'on jette quelques charbons embrasés. Le devant du fourneau est maintenu fermé. Quand le charbon est allumé, on en jette d'autre jusqu'à moitié du fourneau, puis on laisse le tout se consumer pendant une journée; on remet alors trois charges de charbon, ou $0^{mc},510$, puis des scories de la deuxième fonte : on en met environ $0^{mc},170$; puis on met les charges avec leurs compositions habituelles, et l'on commence à donner le vent. Les charges habituelles se composent de $0^{mc},510$ de charbon, de $0^{mc},42$ de minerai pesant environ $2^{qm},62$, et de $0^{m},10$ de scories de la deuxième fonte. Dans le commencement on met un peu moins de minerai et une quantité de scories égale à la quantité de minerai retranchée. Aussitôt que les scories fondues arrivent devant la tuyère, on forme le nez : on le fait autant que possible droit et ne plongeant pas. A partir de ce moment commence le travail régulier. Les charges varient de nombre avec le moment de la campagne où l'on se trouve. Voici un tableau indiquant les charges faites à chaque poste durant une campagne :

	m. c.			m. c.	
1er poste.	6.290	de charbon.	8e poste.	8.910	de charbon.
2e —	7.990	—	9e —	9.080	—
3e —	8.500	—	10e —	8.670	—
4e —	7.650	—	11e —	9.880	—
5e —	8.670	—	12e —	8.910	—
6e —	8.840	—	13e —	0.510	—
7e —	8.500	—			

Les campagnes durent pendant six jours à six jours et demi. Ce temps est réglé par la grosseur des dépôts qui se forment au fond du fourneau.

Les coulées ont lieu toutes les fois que la matte arrive à $0^{m},10$ au-dessous de la surface du bain dans le

creuset : on coule alors la matte en la laissant s'étendre sur une grande surface, de manière qu'elle soit peu épaisse. En général on fait, lorsque le fourneau a pris son allure régulière, deux ou trois coulées par vingt-quatre heures : après chaque coulée, avant de redonner le vent, que l'on a arrêté aussitôt après la coulée, on nettoie le creuset et on enlève tout ce que l'on peut détacher. On recommence ensuite à fondre ; seulement dans le commencement, avant que le creuset soit plein de matières liquides, on a soin de le tenir bouché avec de la brasque.

Quand le bas du fourneau commence à être par trop obstrué par les matières qui s'y sont déposées, on met hors feu ; pour cela on commence à fermer le gueulard par des plaques de tôle, pour ne pas avoir trop de poussières et activer le tirage. Quand la dernière coulée a lieu, on nettoie le fourneau autant que possible avec des ringards courbes pendant qu'il est encore chaud ; puis on le laisse refroidir. Quand il est froid on brise la paroi de devant, au-dessus du creuset, et on le répare. Les réparations ne demandent que quelques heures, et on met généralement en feu le dimanche soir en s'arrêtant le matin.

Les produits de cette fonte sont donc : 1° des mattes tenant en moyenne 19 à 22 p. 100 de cuivre : elle est de couleur bronze, boursouflée, et comme on la coule en plaques peu épaisses, elle ne se boursoufle pas trop ; 2° des scories tenant de 0,23 à 0,40 p. 100 de cuivre, et que l'on jette comme trop pauvres : on ne garde que celles qui coulent avec la matte que l'on refond dans la même opération ; 3° des masses ferreuses tenant du soufre, de la fonte, du cuivre, etc., que l'on brise en morceaux, que l'on grille avec le minerai et que l'on refond dans la même fonte : on y joint également toutes

les démolitions du fourneau qui sont imprégnées de matières métalliques; 4° des fumées que l'on recueille dans les chambres, et que l'on traite comme le schlich des mines.

Grillage de la matte.

La matte, avant d'être soumise à une nouvelle fonte, est grillée afin d'en extraire une certaine quantité de soufre et d'oxyder une partie du fer. On commence par casser la matte en morceaux de la grosseur d'une noix, et on les porte dans l'atelier de grillage. A Roraas on a 48 cases de grillage; elles ont 1^m,25 de large, 2^m,17 de long et 1^m,50 de hauteur; elles sont séparées par des murs de 0^m,60 d'épaisseur. Un des côtés les moins larges de ces cases est libre; l'autre est fait en demi-cercle. On entasse dans ces cases deux ou trois épaisseurs de bois fendu placées en croix, ce qui forme une hauteur d'environ 0^m,25. On commence à placer la matte cassée par-dessus sans mélange de charbon; on en met une moins grande épaisseur sur le devant. La quantité de mattes qui peut être ainsi entassée en une seule fois dans une case est d'environ 44 quintaux métriques. Quand tout est prêt, on met en feu et on laisse griller.

Le grillage recommence en général sept fois de suite, et très-rarement huit fois; à chaque grillage on doit casser de nouveau un grand nombre de morceaux de la matte qui se sont agglomérés, et toute l'attention de celui qui est chargé de surveiller ce travail doit tendre à empêcher ces agglomérations des matières entre elles. Il faut que le grillage soit très-lent : ainsi le premier feu dure généralement vingt-quatre heures, et les suivants vont toujours en augmentant de durée; le dernier demande en général quatre jours. En somme, on peut compter sur trois semaines pour griller la matte aux sept feux. La matte, pendant ces divers grillages,

a perdu une grande partie de son soufre, et le fer s'est oxydé en partie. A l'usine de Roraas, cette opération est très-bien menée. La matte doit être, à la sortie du grillage, légèrement boursouflée.

Neuf ouvriers sont constamment occupés à cette opération, et ils reçoivent une paye, le maître de $1^f,12$ par douze heures, et chacun des huit ouvriers $1^f,02$.

Fonte pour cuivre noir.

La matte est débarrassée d'une très-grande partie du soufre, et le fer s'y trouvant en grande partie oxydé, elle est dans les meilleures conditions pour donner du cuivre noir. Cependant, comme elle ne contient plus de matières argileuses pour scorifier le fer, il faudra ajouter du quartz, et c'est de la quantité de cette matière que l'on ajoutera que dépendra tout le succès de la fonte.

La fusion a lieu dans le même fourneau que la fonte pour mattes; le seul changement que l'on fasse est de n'avoir pas d'avant-creuset; celui-ci se termine juste au-dessous du mur de contrevent, et les scories ne peuvent couler que par le trou que l'on réserve dans cette paroi et que l'on tient bouché, et que l'on n'ouvre que de temps en temps pour faire couler les scories.

Trois ouvriers travaillent à ce fourneau, deux en haut pour mettre les charges dans le fourneau et aider le troisième lors des coulées, et un troisième pour surveiller la fonte. Cet ouvrier n'a, du reste, que peu de travail: de temps en temps il débouche le trou de la paroi de contrevent pour faire couler les scories et enlever les parties mal fondues qui tendraient à s'attacher au fond du fourneau; il rebouche ensuite le trou avec de la brasque: cette opération a lieu environ tous les quarts d'heure. Cet ouvrier est aussi chargé de tout ce qui regarde les coulées. Ils reçoivent la même paye que pour la première fonte, mais on ne leur donne pas de limite

pour la quantité de minerai à fondre; on préfère une bonne fonte à la rapidité.

Le commencement d'une campagne a lieu exactement de la même manière que pour la fonte pour mattes; on ne donne le vent qu'après avoir allumé le charbon jusqu'à la tuyère, et ensuite chargé $0^{mc},510$ de charbon, puis des scories riches, et les charges ordinaires avec un peu plus de scories que d'habitude dans le commencement. Les charges habituelles se composent de $0^{mc},510$ de charbon, de $1^{qm},59$ de mattes grillées, de $0^{qm},16$ de quartz, de crasses de raffinage en quantité variable, selon ce qu'on en a dans le moment, et enfin de scories qui ont coulé sur le cuivre noir lors des coulées. On n'a pas de quantités fixes pour ces dernières : tout ce que l'on peut dire, c'est que l'on fond dans un poste ce que l'on a obtenu dans le poste précédent.

Quand les scories arrivent devant la tuyère, on forme le nez, que l'on doit maintenir très-long; car l'action corrosive des matières en fusion est très-grande : aussi les campagnes ne peuvent-elles durer aussi longtemps que dans les fontes pour mattes. Une fois ce moment arrivé, on n'a plus que le travail régulier, qui consiste à faire couler les scories comme je l'ai dit. La fonte doit être menée très-doucement.

Quand le moment de la coulée du cuivre noir est arrivé, l'ouvrier fait écouler toutes les scories, débouche le nez de manière à avoir plus de vent, et ouvre le trou de coulée. Le cuivre noir se répand alors dans des formes en fonte chauffées préalablement. Ces formes ont $0^{m},60$ sur $0^{m},38$, et $0^{m},05$ à $0^{m},06$ de profondeur. Les scories vont au delà se répandre sur le sol, en passant par-dessus les bords. Pendant que le cuivre noir est encore rouge, on coupe les morceaux qui joignent

les plaques entre elles, et on laisse ensuite refroidir lentement. Quand tout est coulé, on arrête le vent, on nettoie le trou de coulée, on le bouche, et on enlève du creuset les matières mal fondues qui y seraient restées, en les faisant passer par le trou du contrevent, que l'on élargit s'il le faut, sauf à le reconstruire à sa grandeur ensuite. On peut alors recommencer la fonte.

Quand le cuivre noir est froid, on l'enlève et on le frappe avec un marteau. Il s'en détache des scories qui sont imprégnées de cuivre noir, dues à un refroidissement trop rapide de la masse cuivreuse dans les moules de fonte : c'est ce que l'on appelle les sporsteen, que l'on grille avec les mattes avant de les fondre.

Les campagnes ne durent guère plus de quatre jours et quart, car alors le fourneau est trop mangé ; il faut laisser tomber les charges sans rien ajouter, et arrêter la fonte. Les réparations une fois faites, on peut recommencer.

Les produits de cette fonte sont : 1° du cuivre noir tenant encore du fer, un peu de cobalt et de nickel ; 2° des scories que l'on recueille sur le cuivre noir dont elles sont un peu imprégnées, et que l'on refond dans la même opération ; 3° des scories pauvres que l'on recueille dans l'intervalle des coulées, et que l'on fond dans la fonte pour mattes ; 4° quelquefois des dépôts ferreux ; 5° des fumées assez riches que l'on mélange aux schlich des mines ; 6° des scories qui adhèrent fortement au cuivre noir et en contiennent une quantité notable, et que l'on appelle sporsteen.

Le cuivre noir doit être raffiné pour le débarrasser du soufre, du fer, du nickel, etc. Ce raffinage a lieu dans des fourneaux semblables à ceux d'Avesta. On a à l'usine de Roraas deux feux d'affinerie où l'on peut fondre alternativement pendant que l'on répare l'un. Raffinage.

En effet, après une fonte, quand on a enlevé les rosettes de cuivre, on a toujeurs des parties du bassin qui sont abîmées : il faut les réparer avec un mélange d'argile et de charbon, revêtir le tout d'une couche d'argile que l'on étend avec un pinceau, et dessécher le tout.

Les dimensions du bassin sont de 0m,68 de diamètre et 0m,20 à 0m,24 de profondeur. La tuyère avance dans le fourneau de 0m,05, et son extrémité est au ras du niveau supérieur du bassin; son inclinaison est de 15 degrés à l'horizon. Autour du bassin on forme un bourrelet, de manière à l'élever un peu au-dessus de la sole du fourneau.

Le bassin étant bien desséché on le remplit de charbon, et on place dessus les masses de cuivre noir, de manière qu'elles se soutiennent sans le secours du charbon. On recouvre tout de combustible, et on donne le vent d'abord modérément, puis assez fort. On charge en une seule fois 3qm,60 de cuivre noir. Deux ouvriers président à l'opération, un maître et un valet. Leur travail est assez simple : une fois le cuivre noir arrangé, ils n'ont plus qu'à veiller à ce qu'il fonde par gouttes, en passant devant le vent sans qu'aucun morceau ne tombe dans le bassin sans avoir été fondu : dans le cas où cela arriverait, il faudrait relever le morceau au-dessus du charbon.

On doit entretenir une grande quantité de charbon au-dessus du cuivre et empêcher tout trou qui tendrait à se former au milieu par l'action du vent; on doit en même temps, pour épargner le combustible, jeter de temps en temps de l'eau dessus pour l'empêcher de brûler. Généralement après deux heures et demie le cuivre est entièrement fondu : on écarte alors tout le charbon et l'on écume une première fois : les crasses

sont jetées dans une fosse située sur le côté. On écume au moyen d'une pelle en bois. Après cet écumage on remet le charbon sur le cuivre et on donne de nouveau le vent que l'on avait arrêté pendant un quart d'heure à vingt minutes. Après ce temps on enlève définitivement tout le charbon, et l'on procède à un nouvel écumage après avoir arrêté le vent. A mesure que l'on écume on jette du charbon menu pour éviter l'oxydation du cuivre à la surface. On continue de même jusqu'à ce que la surface du cuivre soit bien brillante; alors on enlève tout et l'on procède à l'essayage du cuivre. Cet essai a lieu de la manière suivante: l'aide prend une pelle et la pose à une petite distance au-dessus du cuivre, il reçoit ainsi les parcelles de cuivre qui sautent continuellement. C'est d'après leur aspect que l'on juge de la pureté du cuivre.

Pendant que l'on enlevait le charbon, l'ouvrier avait, avec du menu charbon, fait deux petits murs sur la sole du fourneau pour placer dessus un rouleau en bois qui servira à enlever les rosettes de cuivre en pesant dessus. Si le cuivre est assez pur on commence à les enlever en jetant de l'eau sur le cuivre et en soulevant le cuivre par plaques minces à mesure qu'il se prend. Il faut assez d'habileté pour enlever ces rosettes sans les casser et sans trop détériorer les parois du fourneau. Aussitôt qu'une rondelle est enlevée, on la jette dans un grand bassin plein d'eau; au bout de trois heures l'opération est finie.

Si l'on a alors besoin du fourneau on donne le vent pour le refroidir: la pression ordinaire de celui-ci pendant l'opération varie entre $0^{m},04$ et $0^{m},05$ de mercure. Les ouvriers raffineurs reçoivent $0^{f},81$ par quintal de cuivre rosette: le maître en a deux tiers, l'ouvrier seulement un tiers.

Les produits de l'opération sont donc du cuivre raffiné en rosettes dont la pureté est depuis longtemps reconnue dans le commerce, et des crasses qui tiennent environ un tiers de cuivre, et que l'on refond dans la fonte pour cuivre noir comme je l'ai dit.

Tel est le traitement métallurgique des minerais de cuivre dans le district de Roraas. Dans les autres usines de ce district on opère exactement de la même manière: je n'aurais donc qu'à répéter pour celles-ci ce que je viens de dire.

Il ne me reste plus qu'à donner des renseignements sur les quantités de minerai fondues dans ce district, et sur les frais de leur traitement; pour y arriver je termine cette note par huit tableaux: dans le premier j'indique les quantités de chaque espèce de minerai qui ont été fondues à chaque usine; dans les tableaux 2, 3, 4, 5, 6 je donne les frais spéciaux de chacune des opérations dans les quatre usines; dans le tableau n° 7 j'indique les frais de traitement complet pour chaque usine et pour tout le district, et le prix de revient du cuivre d'après ces frais. Enfin dans le tableau n° 8 j'indique ce que chaque actionnaire reçoit pour une part en cuivre raffiné de chaque usine.

N° 1. — *Tableau des quantités de minerai fondu dans les usines du district de Røraas.*

NOMS de la mine.	ESPÈCES DE MINERAIS.	USINE DE RØRAAS. Quintaux métriques.	Teneur 0/0	USINE D'EIDET. Quintaux métriques.	Teneur 0/0.	USINE DE TOLGEN. Quintaux métriques.	Teneur 0/0	USINE DES LOVISE. Quintaux métriques.	Teneur 0/0
Storvartz. . .	Minerai ordinaire.	7.968,50	6,65	»	»	10.358,40	6,75	8.764,00	7,1
Id.	Minerai lavé.	4.780,80	5,50	»	»	1.595,60	5,5	»	»
Id.	Minerai choisi dans les halles. . . .	2.858,48	4,12	»	»	»	»	»	»
Id.	Minerai douteux.	3.271,46	1,20	»	»	»	»	»	»
Id.	Schlich de lavage.	1.185,64	2.75	»	»	»	»	»	»
Id.	Schlich de bocard	747,40	2,95	»	»	796,80	2,75	»	»
Rougens. . .	Minerai ordinaire.	»	»	11.155,20	3,5	»	»	»	»
Id.	Minerai lavé.	»	»	2.390,40	2,5	»	»	»	»
Id.	Minerai choisi dans les halles. . . .	»	»	956,16	3,0	»	»	»	»
Id.	Schlich.	»	»	478,08	1,5	»	»	»	»
Id.	Minerai douteux.	713,93	»	»	»	»	»	»	»
Mug.	Minerai ordinaire.	»	»	10.192,04	4,1	»	»	»	»
Id.	Minerai lavé.	»	»	1.274 88	3,0	»	»	»	»
Id.	Minerai choisi.	»	»	239,04	3,5	»	»	»	»
Id.	Schlich.	»	»	256,25	0,65	»	»	»	»
Gothaab. . .	Minerai douteux.	»	»	»	»	»	»	1.354,48	2,0
Divers. . . .	Minerai acheté aux paysans.	137,05	3,00	304,50	1,5	»	»	»	»
	Total	21.672,72	»	27.250,55	»	12.748.80	»	10,118,48	»
Quantité totale de minerai.		71.790q. m.,60							
		Quintaux métriques	Par 100 q. m. de minerai.	Quintaux métriques	Par 100 q. m. de minerai.	Quintaux métriques	Par 100 q. m. de minerai.	Quintaux métriques	Par 100 q. m. de minerai.
Poids du cuivre raffiné obtenu.		1.058,13	4,48	959,29	3,52	815,08	6,4	650,97	6,43
Quantité totale de cuivre raffiné obtenu. . .		3.483q. m.,47							

N° 2. — *Tableau des quantités de minerai grillé et des dépenses du grillage en* 1851.

NATURE DES DÉPENSES.	USINE DE RORAAS. Total.	USINE DE RORAAS. Par 100 q.m. de minerai cru.	USINE D'EIDET. Total.	USINE D'EIDET. Par 100 q.m. de minerai cru	USINE DE TOLGEN. Total.	USINE DE TOLGEN. Par 100 q.m. de minerai cru.	USINE DE LOVISE. Total.	USINE DE LOVISE. Par 100 q.m. de minerai cru.
Quantité de minerai grillé. . . . . q. m.	20.954,24	»	25,646,90	»	14.053,00	»	8.924,00	»
Poids du minerai après le grillage. . . . q. m.	19.009.20	»	21.597,60	»	14.089,90	»	8.282,78	»
Rendement	»	95,49	»	90,40	»	100,25	»	92,91
Dépense en bois. . . . . stères.	312,80	1,49	391,00	1,52	187,20	1,31	159,8	2,00
Valeur du bois dépensé à $0^f,93$ le stère. . . .	»	1 39	»	1,41	»	1,22	»	1,68
Main-d'œuvre.	943,22	4,50	1.242,19	4,80	806,20	5,74	370,52	4,15
Total des frais spéciaux	»	5.89	»	6,21	»	6,96	»	5,73

N° 3. — *Tableau des quantités de minerai fondu à la fonte pour mattes et dépenses de cette opération en* 1851.

NATURE DES DÉPENSES.	USINE DE RORAAS. Total.	USINE DE RORAAS. Par 100 q.m. de minerai cru.	USINE D'EIDET. Total.	USINE D'EIDET. Par 100 q.m. de minerai cru.	USINE DE TOLGEN. Total.	USINE DE TOLGEN. Par 100 q.m. de minerai cru.	USINE DE LOVISE. Total.	USINE DE LOVISE. Par 100 q.m. de minerai cru.
Quantité de minerai cru fondu. . . . . q. m.	21.672,76	»	27.250,55	»	12.748,20	»	10.118,48	»
Poids de la matte. . . . . q. m.	6:580,80	»	6,165,50	»	5.215 00	»	3 569,66	»
Rendement.	»	30,37	»	22,63	»	41,00	»	35,00
Dépense en charbon . . . . m. c.	4.345,20	20,07	5.304,00	19.50	2.448,00	19,25	2.040.00	20,00
Valeur du mètre cube de charbon.	4,94	»	3,29	»	3,29	»	2,74	»
Valeur du charbon dépensé.	»	99,14	»	64,15	»	63,33	»	54,80
Main-d'œuvre.	3.584,88	16,57	4.625,60	16,92	2.083,20	16.37	1.562,40	15,43
Total des frais spéciaux.	»	115,71	»	81,07	»	79,70	»	70,23

N° 4. — *Tableau des quantités de mattes grillées et des dépenses de ce grillage en 1851.*

NATURE DES DÉPENSES.	USINE DE RORAAS.		USINE D'EIDET.		USINE DE TOLGEN.		USINE DE LOVISE.	
	Total.	Par 100 q. m. de mattes crues	Total.	Par 100 q. m. de mattes crues	Total.	Par 100 q. m. de mattes crues	Total.	Par 100 q. m. de mattes crues
Quantités de mattes grillées. . . . . q. m.	6.580,80	»	6.454,00	»	5.417,00	»	3.569,66	»
Poids de la matte grillée. . . . . q. m.	6.281,00	»	6.485.00	»	5.596,00	»	3.840,57	»
Rendement.	»	94.89	»	100,49	»	102,94	»	107,59
Dépenses en bois. . . . . stères.	809,44	12,93	959,00	14,80	702,00	12,90	488,95	13,70
Valeur du bois dépensé à 0f,93 le stère.	»	10,16	»	13,76	»	11,99	»	12,74
Main-d'œuvre.	2.292,98	34,86	1.613,20	25,00	1.496,00	27,67	791,14	22,16
Total des frais spéciaux.	»	45,02	»	68,76	»	39,66	»	34,80

N° 5. — *Tableau des quantités de mattes fondues pour cuivre noir et des dépenses de cette opération en 1851.*

NATURE DES DÉPENSES.	USINE DE RORAAS.		USINE D'EIDET.		USINE DE TOLGEN.		USINE DE LOVISE.	
	Total.	Par 100 q. m. de mattes crues	Total.	Par 100 q. m. de mattes crues	Total.	Par 100 q. m. de mattes crues	Total.	Par 100 q. m. de mattes crues
Quantités de mattes crues. . . . . q. m.	6.580,80	»	6.454,00	»	5.417,00	»	3.569,66	»
Quantité de crasses de raffinage. . . . q. m.	256,10	»	248.16	»	330,74	»	240,63	»
Quantité de cuivre noir. . . . . q. m.	1.313,76	»	1.206,74	»	987,80	»	892,48	»
Rendement, déduction faite du cuivre contenu dans les crasses.	»	18,66	»	17,44	»	17,10	»	22,80
Dépenses en charbon	2.142,00	32,55	2.142,00	33,15	1.795,20	33,14	1.162,80	32,51
Valeur du mètre cube de charbon.	4,94	»	3,29	»	3,29	»	2,74	»
Valeur du charbon dépensé.	»	160,79	»	109,40	»	109,03	»	89,26
Main-d'œuvre.	2.189,36	33,30	2.240,00	34,72	1.822,80	33,54	1.085,00	30,40
Total des frais spéciaux.	»	194,09	»	144,12	»	142,57	»	119,64
Quantités de cuivre raffiné obtenu. . . q. m.	1.058,13	1.608,60	959,29	14,86	815,08	15,06	650,97	18,24

N° 6. — *Tableau des quantités de cuivre noir raffiné et des dépenses de cette opération en* 1851.

NATURE DES DÉPENSES.	USINE DE RORAAS.		USINE D'EIDET.		USINE DE TOLGEN.		USINE DE LOVISE.	
	Total.	Par 100 q.m. de cuivre noir.	Total.	Par 100 q.m de cuivre noir.	Total.	Par 100 q.m. de cuivre noir.	Total.	Par 100 q.m. de cuivre noir.
Quantité de cuivre. . . . . q. m.	1.313,76	»	1.206,74	»	987,80	»	892,48	»
Poids du cuivre raffiné . . . . q. m.	1.058,18	»	959,29	»	815,08	»	650,97	»
Rendement sans tenir compte du cuivre contenu dans les crasses.	»	80,40	»	78,00	»	82,52	»	73,00
Rendement en en tenant compte.	»	86.09	»	85,27	»	87,67	»	80.18
Dépense en charbon . . . . m.c.	640,56	48,70	612,00	50,70	530,40	53,56	408,00	45,88
Valeur du mètre cube de charbon.	4,94	»	3,20	»	3,20	»	2,74	»
Valeur du charbon dépensé.	»	240,57	»	166,80	»	176,64	»	125,49
Main-d'œuvre.	867,67	66,17	786,68	65,23	675,01	68,23	533,30	59,88
Total des frais spéciaux.	»	306,74	»	232,03	»	244,87	»	185,37

Tableau de la répartition du cuivre obtenu entre les divers actionnaires en 1851.

	CUIVRE de l'usine de RORAAS.	CUIVRE de l'usine de EIDET.	CUIVRE de l'usine de TOLGEN.	CUIVRE de l'usine de LOVISE.	TOTAL.
Quantité de cuivre reçue par chacune des 172 parts dans l'année 1851 . . . q.m.	6,151	5,577	4,738	3,784	20,25

N° 7. — *Tableau des frais de traitement et des dépenses de toute espèce faites dans le district de Roraas en 1851.*

NATURE DES DÉPENSES.	USINE DE RORAAS.		USINE D'EIDET.		USINE DE TOLGEN.		USINE DE LOVISE.		TOUT LE DISTRICT.	
	Total.	Par q.métr. de cuivre raffiné.	Total.	Par q.métr. de cuivre raffiné.	Total.	Par q.métr. de cuivre raffiné.	Total.	Par q.métr. de cuivre raffiné.	Total.	Par q.métr. de cuivre raffiné.
Quantité totale des bois dépensés. . . stères.	1.277,78	»	1.560,00	»	936,00	»	734,00	»	4.507,78	»
Quantité de charbon dépensé, y compris la perte reconnue par l'inventaire. . . m.c.	8.568,00	»	9.159,00	»	5.589,60	»	4.080,00	»	27.396,00	»
Perte en volume sur le charbon reconnu par l'inventaire.	16,02 0/0	»	12,53 0/0	»	14,64 0/0	»	11,73 0/0	»	»	»
Valeur du bois et du charbon dépensés.	43.166,39	»	33.415,41	»	23.164,35	»	15.395,84	»	115.141,99	»
Transport des minerais aux usines.	1.779,07	»	1.141,37	»	939,30	»	440,39	»	4.300,13	»
Frais divers payés par les usines.	14.628,41	»	6.494,14	»	6.305,51	»	4.885,82	»	32.313,98	»
Materiaux divers.	228.06	»	588,74	»	371,64	»	223,67	»	1.412,11	»
Main-d'œuvre.	26.283,88	»	18.909,05	»	14.387,85	»	10.026,94	»	69.607,73	»
Dépenses de construction.	3.458,80	»	79,14	»	219,85	»	33,32	»	3.791,11	»
Dépenses directes à la caisse centrale.	863,19	»	273,93	»	1.093,06	»	58,29	»	2.288,47	»
Valeur du minerai.	56.298,24	»	94.080,09	»	94.726.08	»	39.331,74	»	239.436,15	»
Dépenses d'administration au prorata des quantités produites pour chaque usine.	16.122,72	»	14.616,69	»	12.419,37	»	9.918,82	»	53.077,60	»
Totaux.	162.828,76	153,88	168.819,51	175,01	108.361,23	132,94	80.101,57	123,05	520.111.07	149.38

TRAVAUX D'ART

DES CHEMINS DE FER D'ALLEMAGNE.

Par M. C. COUCHE,
Ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

Les éléments de ce travail ont été recueillis dans le cours de deux voyages faits, par ordre de M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, au point de vue du Cours professé à l'École des mines sur les chemins de fer et les constructions.

Ces voyages avaient surtout pour objet l'étude des questions qui rentrent dans les attributions habituelles des ingénieurs des mines, c'est-à-dire de celles qui se rattachent au matériel et à l'exploitation technique. Mais il a paru utile de publier aussi les observations rassemblées sur l'établissement des chemins de fer eux-mêmes. Peut-être ces renseignements offriront-ils quelque intérêt aux ingénieurs, auxquels les exigences impérieuses d'un service de construction ne permettent pas de suivre par eux-mêmes les progrès de l'art à l'étranger.

Juillet 1854.

SOMMAIRE.

INTRODUCTION.

§ I. — PROGRÈS DU RÉSEAU ALLEMAND.

1. La création des chemins de fer sera sans doute un des titres les moins contestés de notre époque à occuper une place honorable dans l'histoire. Jamais l'activité humaine n'a été plus laborieuse et plus féconde ; nulle autre génération n'a semé plus abondamment pour l'avenir, et celles qui la suivront ne seront certainement pas tentées de lui reprocher cette préoccupation des intérêts matériels, dont on lui a fait si souvent un reproche de nos jours. *Progrès des chemins de fer d'Allemagne.*

Si, envisagée dans son ensemble, l'influence des chemins de fer sur le développement de la richesse publique frappe tous les yeux, elle mérite d'être signalée à un point de vue tout spécial, celui des progrès de l'industrie. Les exigences techniques des chemins de fer, toujours croissantes, toujours satisfaites, ont transformé les méthodes de construction, perfectionné la partie mécanique de la métallurgie du fer, introduit dans la disposition des chaudières et du mécanisme des appareils à vapeur des améliorations dont toutes les industries font leur profit ; les chemins de fer ont créé le télégraphe électrique, en le rendant nécessaire ; ils ont, en vertu de la solidarité du progrès, accéléré encore

la marche déjà si rapide des perfectionnements de la navigation à vapeur.

2. Dans un autre ordre de faits, les ombres, il est vrai, ne manqueraient pas au tableau : l'agiotage prenant par moment des proportions inouïes ; — les esprits flottant entre un engouement aveugle et un découragement sans motifs ; — l'absence de plan, de vues d'ensemble, dans l'application des ressources publiques ou privées à l'accomplissement d'une tâche immense ; — l'œuvre commencée ici, ajournée là — au hasard ou au gré des intérêts, des influences, des caprices ; tantôt des tronçons isolés, et par cela même improductifs ; ailleurs des lignes rivales, condamnées à une concurrence désastreuse : tel est le spectacle qu'a présenté en Angleterre, et à certains égards en France, la période d'enfantement des chemins de fer.

Marche différente de ce progrès dans le nord et dans le sud de l'Allemagne.

L'Allemagne n'a pas non plus évité complétement ces écueils. Les premiers linéaments du réseau allemand ont paru se rattacher à un système général, mais il n'a pas tardé, en se développant, à perdre ce caractère. Si, du reste, les intérêts généraux ont eu tant de peine à prévaloir dans un État compacte et puissamment centralisé comme la France, leur triomphe devait être plus difficile encore dans cette vaste agglomération d'États dont aucun n'est disposé à faire bon marché de son individualité, et qui accepteraient de l'unité, ses avantages, mais non ses sacrifices.

La tendance à la constitution de l'*unité allemande*, tendance si prononcée en apparence il y a quelques années, n'était guère, on le sait, qu'une tactique née de l'antagonisme des deux puissances prépondérantes, et cachant sous son titre un germe de division. Favorisée par la puissance appelée à en recueillir exclusivement le bénéfice, elle était par cela même repoussée par

l'autre (1) ; et les États secondaires qui gravitent autour des deux principaux se trouvaient nécessairement aussi divisés sur ce terrain.

Il serait aussi inexact de refuser à cette cause toute influence sur les différences si tranchées que présentent les développements du réseau au nord et au sud, que de les lui attribuer exclusivement. Sans doute la configuration du terrain, la situation financière de l'Autriche, les circonstances politiques, ont puissamment contribué à ralentir les progrès des chemins de fer dans le sud ; mais ce n'est pas seulement la lenteur relative de ce progrès qui frappe, c'est aussi sa manière d'être. Causes de cette différence.

3. Dans le nord, sous l'impulsion de la Prusse qui voit dans les chemins de fer un puissant instrument d'unité, c'est-à-dire d'influence ; qui tient d'ailleurs à relier sans retard les portions séparées de son vaste territoire, le réseau s'étend rapidement. Dans les régions moyenne et méridionale, au contraire, tous les chemins suivent d'abord la même direction, nord-sud ; et tandis que ces lignes longitudinales sont exécutées à grands frais, les lignes transversales, non moins importantes, sont entreprises tardivement et poussées mollement. Il y a quelques jours à peine que l'exécution des tronçons de Bruchsal à Bietigheim, et d'Ulm à Augsbourg, a mis un terme à l'isolement des chemins du duché de Bade, du Wurtemberg, et de la Bavière ; et la ligne de Vienne à Trieste est terminée jusqu'à Laybach, quand celle de Munich à Bruck est à peine commencée sur le territoire autrichien ; de sorte que pendant plusieurs années encore, Paris et Vienne ne communiqueront que par Dresde.

Ce n'est nullement la difficulté matérielle des lignes

(1) Un tiers seulement de la population de l'empire autrichien appartient à la confédération germanique.

transversales qui a entravé à ce point leur exécution. L'isolement, l'individualisme ont d'abord prévalu dans le sud, comme l'unité dans le nord. Pour les trois États secondaires que je viens de citer il s'agissait d'un intérêt de trafic plus ou moins bien entendu : chacun d'eux s'est préoccupé, trop exclusivement sans doute, du mouvement international nord-sud, et a voulu avant tout et à tout prix attirer sur son territoire une partie de ce mouvement, le plus important sans contredit, mais qui fera son choix et adoptera un itinéraire quand les chemins de la Suisse seront exécutés à leur tour. Quant à l'Autriche, une fois rattachée par les chemins de la Bohême et de la Silésie à tout le réseau du nord, aux ports de la mer du Nord et de la Baltique,— c'est-à-dire après avoir donné satisfaction à l'intérêt commercial par excellence, ou réputé tel,— elle revient exclusivement à des préoccupations d'un autre ordre, et place les chemins de fer destinés à développer les relations internationales, bien après ceux qui doivent lier entre eux tous les éléments disparates de ce vaste empire. C'est ainsi que les provinces les plus reculées de la Hongrie auront des chemins de fer presque avant d'avoir des routes, et que Venise et Milan seront rattachées à Vienne, en dépit des obstacles accumulés par la nature, aussitôt que Munich, ou peu s'en faut.

Mais si l'accroissement du réseau allemand dans le sud porte quelquefois l'empreinte d'un esprit de nationalité étroit, exclusif, ou celle des exigences impérieuses de la politique : si au point de vue abstrait de l'économiste, les résultats immédiats ne sont pas en proportion avec l'importance des sacrifices, il est certain du moins que ceux-ci porteront leurs fruits. Envisagés comme éléments du système général des voies de communication européennes, les chemins construits ou

en cours d'exécution n'étaient pas tous immédiatement nécessaires, mais tous le seraient dans un avenir rapproché. En faisant des chemins de fer des instruments d'assimilation, la politique a dû intervertir un ordre naturel; mais elle a, par le fait, puissamment hâté l'accomplissement de l'œuvre d'ensemble, en s'imposant pour l'exécution des lignes les plus dispendieuses des sacrifices devant lesquels on eût à coup sûr reculé pendant longtemps, sans ce stimulant décisif.

Les progrès que le temps amène avec lui auront bientôt comblé les lacunes, et l'Allemagne se trouvera alors en possession d'un réseau moins méthodiquement tracé peut-être, mais certainement plus complet que si des considérations d'unité ou d'utilité directe, dégagées de toute préoccupation politique, avaient seules présidé à la répartition de ses éléments.

Progrès dans les divers États. (Pl. V.)

4. Il serait fort inutile de les énumérer longuement : il suffit de renvoyer le lecteur à la carte (Pl. V) qui représente l'état actuel de ce réseau; mais il convient d'appeler l'attention sur la marche rapide de son développement.

Prusse.

Dès aujourd'hui, la Prusse possède un système complet qui, du Rhin à la Vistule, de la Baltique à la Haute-Silésie, rattache presque sans exception tous les points importants de ce vaste territoire. Au nord-est, elle pousse activement les immenses travaux du passage de la Vistule à Dirschau et de la Nogat à Marienbourg, et va combler ainsi la seule lacune qui existe encore entre Berlin et Kœnigsberg. A l'est, la ligne de Posen à Breslau par Lissa, les embranchements de Ratibor à Léobschutz et au district carbonifère de Cotuta, sont étudiés et seront prochainement construits. Au sud, une ligne directe va être exécutée de Magdebourg à Dessau pour se prolonger jusqu'à Leipzig, et une autre de Vittenberg à Halle par Bitterfeld, pour rattacher plus directement Berlin à Leipzig et à la Bavière. Dans la province du Rhin, la Prusse vient d'inaugurer l'important tronçon de Saarbruck, ceux d'Aix-la-Chapelle à Mästrecht et à Dusseldorf, de Gladbach à Ruhrort; une autre ligne est projetée de Cologne à Neus et Kréfeld avec prolongement éventuel vers la Hol-

lande (1), et une autre de Cologne à Giessen (Hesse grand-ducale). En Westphalie, le tronçon de Paderborn à Warbourg vient de rattacher la ligne de Munster et celle de Cologne à Minden aux chemins de la Hesse électorale. Un autre va unir directement Dortmund et Söest. La ligne de Munster se prolonge vers Rheine et va atteindre, par l'intermédiaire du Hanovre, la mer du Nord à Emden : Osnabruck est rattachée à la ligne de Cologne à Minden par un embranchement que le Hanovre pousse jusqu'à Lingen, sur la ligne précédente. Au nord, enfin, le gouvernement décide la construction d'une ligne de Berlin à Stralsund et se concerte avec la Suède, qui fait étudier un chemin de Stockholm au port d'Ystad : projet dont l'exécution, combinée avec un service de bateaux à vapeur, mettrait les deux capitales à quinze heures de distance.

Holstein. Les possessions allemandes du Danemark paraissent elles-mêmes entraînées dans le mouvement, mais il est vrai sous l'influence des capitalistes anglais, dont la féconde hardiesse supplée si souvent au défaut d'initiative locale. Les villes d'Itzehöe, Tönningen, Husum, Flensbourg, etc., doivent être rattachées, comme le sont déjà Rendsbourg et Glückstadt, à la ligne d'Altona à Kiel. Le réseau du Schleswig-Holstein sera alors complet. Il y aurait toutefois pour ce petit groupe une première mesure bien plus utile : ce serait de le tirer de son isolement par l'exécution du raccordement d'Altona à Hambourg; mais ces deux villes s'entendent pour repousser une jonction qui leur ferait perdre les avantages attachés à la position de tête de ligne.

Hanovre. Le Hanovre complète son œuvre en reliant directement sa capitale avec celle de la Hesse électorale par Göttingue et Münden, en prolongeant la ligne de Westphalie jusqu'à l'embouchure de l'Ems, et y rattachant Osnabruck. Un chemin transversal doit, dans un avenir sans doute prochain, rattacher Harbourg (sur l'Elbe) à Brême et Oldenbourg, se prolonger vers Groningue, de là vers Utrecht, Rotterdam et Amsterdam, et unir ainsi Londres et Hambourg par la voie la plus directe.

---

(1) Elle serait construite par la compagnie du chemin Rhénan (Aix à Cologne), qui chercherait ainsi à ressaisir son trafic gravement compromis par la concurrence de la ligne directe d'Aix à Dusseldorf; la construction enfin résolue d'un pont à Cologne consolidera du reste bientôt sa position.

Le Brunswick exécute, tant sur son territoire que sur celui du Hanovre, le tronçon de Börsum (chemin de Wolfenbuttel à Neustadt) à Kreiensen (chemin du sud hanovrien), et prolonge ainsi jusqu'à la ville de Brunswick la ligne directe de Bâle à Cassel. Brunswick.

La Saxe, reliée au réseau du nord suivant deux directions, par Halle et par Jüterbock : à la Silésie, à la Bohême, à la Bavière, n'a plus qu'à continuer la ligne directe de Leipzig vers Dessau, et à prolonger jusqu'à Zwickau l'important embranchement, qu'elle vient de terminer à grands frais, de Riesa à Chemnitz. Cette industrieuse cité et l'Erzgebirge saxon seront alors en communication directe avec la ligne du sud et surtout avec les houillères de Zwickau, dont les charbons ne leur arrivent aujourd'hui que par Leipzig et Riesa, c'est-à-dire par un détour qui décuple la distance.— Deux petites lignes, l'une de Dresde à Freiberg, l'autre de Dresde au petit bassin houiller de Tharand, sont à l'étude. Saxe.

La Hesse électorale longtemps inactive, et dont les hésitations n'avaient pu être vaincues que par la menace d'un isolement complet, est rattachée à Leipzig, à Francfort, et va l'être au Hanovre et à Paderborn. Hesse Électorale.

Le duché de Nassau commence les terrassements du chemin de Wiesbade à Niederlahnstein (près Coblentz), chemin destiné à compléter bientôt, en se prolongeant jusqu'à Deutz, la grande ligne de la rive droite du Rhin, de Bâle à la mer du Nord. Duché de Nassau.

Les duchés de Saxe vont, avec le concours de la Bavière, relier la ligne du nord bavaroise à celle de la Thuringe,— de Lichtenfels à Eisenach, — par Cobourg, Hildburghausen et Meiningen (*Main-Werra-bahn*). Duchés de Saxe.

La Hesse grand-ducale, après avoir terminé son contingent du Main au Weser, et formé, en reliant Worms et Mayence (aux dépens il est vrai de son chemin de la rive droite du Rhin) le complément de la ligne du Palatinat, projette une ligne directe de Darmstadt à Aschaffenbourg, sur le chemin de Francfort à Bamberg. Hesse grand-ducale.

Le duché de Bade, après avoir enfin soudé sa ligne à celle du Wurtemberg, va la prolonger à travers les cantons de Bâle et Schaffouse jusqu'au lac de Constance.— Quant au Wurtemberg, il regarde son système comme complet, au moins pour le pré- Bade. Wurtemberg.

sent, par le fait de sa jonction avec les lignes de Bade et de Bavière.

Bavière. La Bavière vient de terminer le chemin du Palatinat, et travaille activement, de concert avec la France, à compléter sur la rive gauche du Rhin, par Weissembourg et Neustadt, la ligne de Bâle à Mayence; — elle atteint le lac de Constance par des travaux gigantesques (144, 149), mais que justifie la perspective certaine d'une jonction avec le réseau suisse par Brégentz (Autriche); elle se relie avec le Wurtemberg d'Ausbourg et Ulm, marche à l'ouest vers Aschaffenbourg et Francfort, à l'est vers Salzbourg et l'Autriche. Au nord, elle termine le petit embranchement de Neuenmarkt à Beyreuth; au sud, elle commence celui de Rosenheim à Kufstein (Tyrol); enfin elle doit mettre bientôt la main à l'œuvre pour joindre Munich à Ratisbonne.

Autriche. L'Autriche continue sa tâche, souvent dans les circonstances les plus critiques, avec une suite qui atteste à la fois la puissance de sa volonté et celle de ses ressources. Construire des chemins de fer dans les contrées industrieuses, où tous les éléments du trafic sont accumulés, où ils n'attendent que ces voies perfectionnées pour se développer, c'est ce qu'on fait tous les jours; mais en doter largement des pays auxquels leurs mœurs et l'état de leur industrie semblaient refuser pour longtemps encore cette expression la plus complète du progrès matériel, — devancer ainsi la civilisation, — c'est une tâche qui ne manque assurément ni de hardiesse ni de grandeur. L'Autriche l'accomplit dans ses possessions de l'Est avec une remarquable persévérance. Les chemins hongrois n'ont pas à franchir, comme ceux du Nouveau-Monde, des fleuves gigantesques et des déserts immenses; mais aussi ils n'ont pas pour auxiliaires, comme au delà de l'Océan, le génie aventureux et fébrile qui du jour au lendemain vivifie et

(1) D'Aschaffenbourg à Hanau, la ligne est construite et sera exploitée par la compagnie de Francfort à Hanau.

transforme ces déserts ; le souffle plus tempéré de la civilisation européenne ne fait pas de ces prodiges.

Sans doute l'Autriche voit dans les chemins de fer, en même temps que des éléments de fusion entre tant de nationalités différentes (1), et quelquefois même antipathiques, un puissant instrument stratégique ; mais leur action pacificatrice est de tous les instants, et tend, par cela même, à rendre inutile le rôle qu'ils peuvent jouer comme moyen de répression.

Voici le bilan des lignes dont la construction est commencée ou résolue :

En Bohême :

Le chemin de Prague à Pilsen sur la Mies, et de là vers Hof d'une part, et de l'autre vers Nuremberg (Bavière) ;

Celui de Bustiehrad à Rubencz.

Dans l'archiduché d'Autriche, la Styrie et le royaume d'Illyrie :

Une ligne de Linz à Passau (Bavière), destinée, aux termes d'un traité conclu entre les deux États, à se prolonger plus tard d'un côté jusqu'à Ratisbonne, et de l'autre jusqu'à Vienne ;

Une ligne de Bruck à Salzbourg (Bavière) ;

Le chemin, poussé très-activement, de Laybach à Trieste ;

Une ligne de Marbourg ou plutôt de Cilli à Klagenfurt, traversant les districts carbonifères et industriels de la Styrie et de la Carinthie ;

Dans la Lombardie et le Tyrol :

Le chemin de Trieste à Venise ;

Le prolongement jusqu'à Milan de la ligne, exploitée aujourd'hui, de Venise à Brescia (2) ;

---

(1) Les lois de l'empire autrichien sont promulguées en neuf langues.

(2) Le petit chemin de Milan à Tréviglio, exploité depuis plusieurs années, devait former la tête de cette ligne à laquelle Bergame eût été rattachée par un embranchement. Mais, dans ces derniers temps, les intérêts de cette ville, importante en effet, ont trouvé des défenseurs assez influents pour faire remettre le tracé en question, et, à ce qu'il paraît, avec beaucoup de chances de l'attirer jusqu'à elle. Le tronçon de Tréviglio resterait alors isolé.

Le prolongement jusqu'au Tagliamento, et ensuite vers l'Isonzo, de la ligne de Venise à Trévise;

Un chemin de Vérone à Trente, Botzen et Inspruck, qui doit se souder, à Küfstein, à la ligne que construit la Bavière de Munich à cette ville.

En Hongrie, un système complet qui comprend :

1° *De l'ouest à l'est :*

Le prolongement vers la haute Theiss (Tockay) de la ligne, exploitée, de Vienne à Pesth;

Une ligne de Steinbrucke (chemin de Vienne à Trieste) à Agram (Croatie) et Temeswar (Banat).

2° *Du nord au sud :*

Une ligne de Vienne à Oedenbourg, Agram et Karlstadt, exécutée seulement jusqu'à Oedenbourg;

Une autre de Pesth à Szolnock et Szegedin (sur la Theiss), qui vient d'être achevée jusqu'à Ketshemet;

Une troisième de Tockay à Debreczin (capitale de la Haute-Hongrie), Grosswardein, Arad et Temeswar;

3° *Une grande ligne diagonale* qui doit partir d'Agram et se diriger par Tockay vers la Gallicie.

En Gallicie :

La ligne de Cracovie à Tarnow, construite jusqu'à Bochnia;

Le prolongement de cette ligne jusqu'à Lemberg, capitale du royaume;

La ligne de Tarnow à Tockay, formant le complément de la ligne transversale hongroise mentionnée tout à l'heure.

Prolongement sur le territoire russe.

Ces vastes projets, dont l'exécution subordonnée sans doute aux événements est poursuivie du moins avec une rare énergie, contrastent singulièrement avec la lenteur du progrès des chemins de fer dans les possessions moscovites. Cependant, cet immense empire se décide lui-même à accepter les voies nouvelles. Le tracé de Varsovie à Pétersbourg est complétement étudié et approuvé (1); le chemin de Pétersbourg à Moscou est en exploitation : de sorte que le jour n'est pas éloigné où les rails se prolongeront sans interruption de Bayonne à la première capitale de l'empire russe.

---

(1) Il passe par Kowno, Bialystock, Grodno et Walno.

5. L'active impulsion donnée en Allemagne à la construction des chemins de fer est surtout aujourd'hui l'œuvre des gouvernements : des 650 kilomètres livrés à la circulation en 1853, le quart à peine a été exécuté par l'industrie privée. La Prusse elle-même, après avoir débuté par l'application exclusive des concessions, a changé de système. Non-seulement le gouvernement s'est chargé de la construction de la plupart des nouvelles lignes, mais encore il tend à se substituer par voie de rachat aux compagnies; on lui attribue même l'intention d'user dans ce but d'un droit rigoureux, et d'amener à composition par la menace, suivie d'effet au besoin, d'une concurrence immédiate, les lignes dont il désirerait prendre possession avant le terme stipulé pour l'exercice du droit de rachat. L'exemple du chemin rhénan, exécuté à si grands frais, et compromis par une diversion qui pouvait être tout au moins ajournée(4), donne à cette présomption quelque apparence de réalité.

La construction et l'exploitation par l'État prévalent en Allemagne.

Prusse.

L'exécution et l'exploitation par l'État, qui ont prévalu de prime abord dans le Hanovre, la Hesse électorale, le duché de Bade, le Wurtemberg, n'y ont souffert aucune exception. La Saxe, après être partie du principe opposé, se trouve aujourd'hui à très-peu près dans la même situation que ces États. La ligne de Leipzig à Dresde, concédée à perpétuité, et le petit embranchement de Löbau à Zittau, sont seuls aujourd'hui la propriété des compagnies; encore l'exploitation du second est-elle prise à ferme par l'État. Plusieurs tentatives malheureuses, et en dernier lieu celle de la ligne de Chemnitz, concédée à une compagnie qui délaissa sa tâche à peine commencée, ont naturellement décrédité en Saxe le régime des concessions. Sans repousser absolument ce principe, le gouvernement n'est disposé à l'admettre, dans l'occasion, que

Hanovre, Hesse electorale, Bade, Wurtemberg.

Saxe.

sous la condition d'une période de jouissance extrêmement restreinte. Système vicieux, dans lequel une concession n'est possible qu'à force de compensations actuelles offertes aux compagnies à défaut d'avenir, c'est-à-dire en exagérant les charges immédiates de la fortune publique (1).

Grande-Hesse.

Le chemin tout nouvellement construit dans la Hesse grand-ducale, de Mayence à Worms et Ludwigshafen, a été, contrairement aux précédents de cet État, exécuté par une compagnie qui a obtenu du gouvernement un prêt de 3 millions de francs, ne portant intérêt que quand les actionnaires auront reçu 5 pour 100.

Bavière.

Dans la Bavière proprement dite, tous les chemins terminés ou en cours d'exécution seront entre les mains de l'État, sauf la petite ligne de Neuenmarkt à Beyreuth, due au concours des ressources communales et privées.

Les conditions dans lesquelles ce concours a eu lieu attestent de la part des localités une intelligente appréciation de l'influence bienfaisante des chemins de fer; car elles excluent toute spéculation et ne constituent qu'un placement médiocre.

Il a été pourvu à la dépense de cet embranchement :

1° Par un emprunt de 1.680.000 fr., contracté par le conseil communal de Beyreuth et souscrit par la banque de Nuremberg;

2° Par une somme de 630.000 fr., provenant des souscriptions privées. L'État va exploiter cette petite ligne et servira un intérêt de 4 1/2 p. 100 du capital de construction.

Bavière rhénane. Elle fait exception.

Dans la Bavière rhénane, au contraire, l'exécution des chemins a été abandonnée aux compagnies. Voici sous quelle forme s'exerce le concours de l'État pour la

(1) C'est ainsi que le projet, débattu depuis longtemps, de la concession du petit chemin entre Dresde et Tharand, n'a pu encore aboutir, parce que le gouvernement refuse d'en prolonger la durée au delà de quinze ans.

ligne en cours d'exécution de Weissembourg à Neustadt (sur le chemin du palatinat) :

1° Le capital (4.400.000 fr.) reçoit pendant les travaux un intérêt de 4 1/2 p. 100 ;

2° Le même minimum d'intérêt est garanti pendant une période de vingt-cinq ans à partir de l'ouverture, sous les conditions suivantes :

a. Retour du chemin à l'État, sans indemnité, au bout de quatre-vingt-dix-neuf ans ;

b. Pendant la période de vingt-cinq ans, prélèvement de 1 p. 100 sur tout produit net excédant 5 1/2 p. 100 ; affectation de ce prélèvement à la constitution d'un fonds de réserve destiné au service de l'intérêt pour les exercices pour lesquels la garantie devra fonctionner ;

L'excédant au delà de 5 1/2 p. 100 sera d'ailleurs distribué aux actionnaires en sus des 4 1/2 p. 100 ;

c. Continuation du même prélèvement aux mêmes conditions, après l'expiration de la période de garantie, jusqu'à ce que l'État soit complétement indemnisé ;

d. Faculté de rachat après l'expiration des vingt-cinq ans, moyennant le remboursement intégral du capital d'établissement et une prime aux actionnaires.

En Autriche, la construction et l'exploitation des premiers chemins de fer ont été abandonnées à l'industrie privée ; ensuite un système mixte prévalut : construction par l'État, exploitation par des compagnies fermières. Mais le peu de succès de ces opérations, inaugurées d'ailleurs dans des circonstances politiques très-défavorables, détermina dès 1849 le gouvernement à reprendre l'exploitation en régie. Tous les chemins de l'Autriche, de la Hongrie, de la Lombardie, sont aujourd'hui entre les mains de l'État, à l'exception de la ligne du nord et du petit chemin de Vienne à Brück (dit de Vienne à Raab). A la suite de longues négociations, l'État a racheté en 1853 le chemin de Vienne à Gloggnitz, tête de la grande ligne de Vienne à Trieste

Autriche.

Rachat de la ligne de Gloggnitz.

et à Venise. Cette opération menaçait de traîner en longueur, lorsque le gouvernement se déclara résolu à exécuter immédiatement, ainsi qu'il s'en était réservé le droit, une nouvelle ligne de Vienne à Gloggnitz : devant cette menace, la compagnie dut capituler.

Le rachat de la ligne du nord, tronc du réseau qui unit Vienne à la Bohême, à la Silésie, à la Gallicie, à la Hongrie, entre nécessairement aussi dans les vues du gouvernement; mais c'est une grosse affaire (1), dont les embarras financiers peuvent ajourner pendant longtemps encore la conclusion. — L'Autriche ne renonce pas, d'ailleurs, d'une manière absolue aux concessions; seulement elle n'en fait que de peu importantes; ainsi le prince de Furstenberg a obtenu récemment celle d'un chemin à locomotives qui doit relier Prague au district carbonifère de Bustiehråd, en profitant sur une certaine longueur du chemin à chevaux de Prague à Lana.

6. En somme, le principe posé aujourd'hui dans toute l'Allemagne, la Bavière rhénane exceptée, est celui-ci : construction et exploitation par l'État pour les lignes d'intérêt général, — par l'industrie privée pour les lignes d'intérêt local. — Mais comme cette distinction prête à une interprétation fort large, et qu'il n'y a pas de ligne qui ne se rattache d'une manière plus ou moins directe aux intérêts généraux, il en résulte que la part laissée à l'industrie privée est de plus en plus restreinte. De longs tâtonnements sans parti pris, une expérience prolongée des divers systèmes, aboutissent partout au même régime, — l'exploitation par l'État.

Haute portée de cette unanimité.

C'est un fait digne d'une sérieuse attention que cette unanimité, si évidemment exempte de parti pris. Il n'y a pas de pays où les chemins de fer soient plus popu-

(1) Les actions émises à 1.000 fl. oscillaient en 1853 entre 2.200 et 2.400 ; à ce taux, le chemin du Nord représente un capital de 280 à 300 millions de francs.

laires qu'en Allemagne, et les gouvernements ne seraient nullement embarrassés pour trouver des concessionnaires à des conditions favorables, si ce n'est pour quelques lignes, plutôt politiques ou stratégiques, que commerciales. Mais la conviction générale, en Allemagne, est que l'exploitation des grandes lignes de chemins de fer rentre essentiellement, par sa nature même, dans les attributions de l'administration publique, quelles que soient d'ailleurs les conditions plus ou moins avantageuses auxquelles la concession serait possible (1).

7. Les compagnies ont prouvé et prouvent tous les jours, en Angleterre et surtout en France, qu'elles sont parfaitement aptes à assurer un bon service sur les chemins de fer. Mais est-il possible de voir sans quelque défiance l'usage de ces précieux éléments de la richesse publique monopolisé entre les mains des intérêts privés? Quand il est si important que la balance soit, en matière commerciale, tenue également pour tous, n'est-il pas plus naturel et plus rassurant de la voir dans les mains de l'État? A cet égard, sa surveillance n'offrira jamais autant de garanties que sa propre gestion.

Il est permis de croire que la question n'est pas dé-

---

(1) Des faits particuliers tendent quelquefois à donner à cette opinion un caractère moins dégagé de toute considération personnelle. Il est certain, par exemple, que le gouvernement saxon accepte avec une certaine difficulté la situation de la compagnie de Leipzig à Dresde, qui constitue pour ainsi dire un État dans l'État. — Mais ces priviléges, jugés excessifs aujourd'hui, semblaient au contraire laisser aux concessionnaires le mérite de la hardiesse, à une époque où personne ne soupçonnait l'avenir des chemins de fer, les gouvernements pas plus que les compagnies. Si ces premières tentatives avaient succombé sous des charges trop lourdes, l'exemple eût été funeste, et le mal plus grand que l'inconvénient de l'exagération actuelle de leurs priviléges.

finitivement tranchée en France : l'exemple de l'Allemagne contribuera peut-être un jour à la soulever de nouveau, et à la résoudre. A cet égard, l'exemple de l'Angleterre ne prouve rien pour la France ; il ne prouve même rien pour l'Angleterre : pour elle, il n'y avait pas en effet de question possible ; bon ou mauvais, le régime de l'exécution et de l'exploitation par l'industrie privée était forcé ; il est la conséquence d'une organisation économique si profondément enracinée, qu'une intervention directe de l'État serait considérée comme une sorte d'atteinte à la liberté industrielle, et, à ce titre, impossible. D'ailleurs le régime en vigueur en Angleterre est peut-être le meilleur pour cette nation, par les motifs mêmes qui le rendaient nécessaire ; les abus sont peu à craindre en présence de la constitution puissante de l'industrie et du commerce, de l'association qui sauvegarde tous les intérêts en les équilibrant. On ne trouve en France ni les mêmes obstacles à l'exploitation par l'État, ni les mêmes garanties contre les abus possibles de la gestion privée. Ce qui est praticable en Allemagne le serait au même titre chez nous : il dépendra des compagnies d'empêcher que cela ne devienne nécessaire un jour.

§ II. — TRACÉ.

8. Les nations qui marchent à la tête de la civilisation européenne ont chacune leur rôle distinct dans le laborieux et rapide développement des chemins de fer. A l'Angleterre (à laquelle il est juste d'associer la Belgique, qui l'a suivie de près) revient l'honneur d'avoir la première compris leur importance, et de leur avoir appliqué sans hésitation les immenses ressources de son sol, de son industrie, de son génie pratique. *Part de chacune des grandes nations européennes dans les progrès des chemins de fer.* Angleterre.

La France, d'abord moins prompte à l'exécution, suivant son habitude, a apporté dans tous les détails de la construction, des aménagements, de l'organisation du service, la précision méthodique qui est le cachet ordinaire de ses œuvres. L'Allemagne, aux prises en plusieurs points avec des difficultés regardées d'abord comme presque insurmontables, a prouvé que la continuité des chemins de fer est possible partout; qu'ils peuvent franchir tous les obstacles, et cela sans changer de nature, sans sacrifier leur mode de traction, sans modifier la disposition du matériel de transport; et qu'en définitive si une route ordinaire est praticable, un chemin de fer l'est également. France.

9. C'est là un résultat acquis, non comme un tour de force, réalisé par une sorte d'abus des moyens mis en œuvre, mais comme un fait pratique, qu'on met chaque jour à profit. La limite de $0^m,025$ adoptée en Allemagne pour les rampes l'est également en Piémont (1), en Suisse, partout enfin où se présentent Rampes.

(1) La ligne de Gênes à Turin gravit même le versant méridional des Apennins par des rampes dont l'inclinaison atteint 0,035, et qui sont franchies régulièrement par des locomotives depuis l'ouverture, très-récente du reste, de l'exploitation. Mais, en admettant que la traction au moyen de locomotives soit toujours rigoureusement possible sur de telles rampes, il est hors de doute qu'elle ne pourrait, sous le rapport écono-

des circonstances de relief analogues. La France n'a pas eu jusqu'ici à appliquer cette limite extrême; mais déjà l'administration a admis pour les chemins nouvellement concédés des rampes de $0^{m},015$ et $0^{m},017$, en laissant même entrevoir la faculté d'aller au delà.

On a cité bien souvent les résultats de quelques expériences faites sur des rampes beaucoup plus roides encore; mais ces rampes étaient très-courtes : le temps, choisi à souhait, était favorable. Ces expériences, intéressantes du reste au point de vue mécanique, étaient donc sans valeur pour la solution de la question pratique, celle d'une exploitation régulière sur des rampes d'une longueur indéfinie. Peut-être n'a-t-on pas rendu assez complétement justice à la hardiesse réfléchie de l'habile et modeste ingénieur (M. Pauli) qui le premier, il y a cinq ans, osa admettre dans le tracé d'une grande ligne une rampe de 0,025 sur une longueur de $5^{k},4$ (de Marktschorgast à Neuenmarkt) (1).

Les rampes très-inclinées ont toujours une grande longueur.

De semblables rampes ne sont d'ailleurs admises qu'à la dernière extrémité, et quand il faut recourir à tous les moyens pour frayer un passage au chemin de fer; ces inclinaisons exceptionnelles coïncident donc et avec des travaux d'établissement très-considérables, et avec une grande longueur de rampe. Comme elles exigent des moteurs spéciaux, on se garderait, si ce n'est dans des circonstances toutes particulières, de les appliquer sur une faible longueur, parce qu'une aggravation mo-

---

mique, soutenir la comparaison avec un service de moteurs fixes convenablement organisé. C'est, d'ailleurs, en vue de ce mode de traction que les rampes de 0,035 ont été admises; et il ne s'agit aujourd'hui que d'une expérience, utile surtout parce qu'elle satisfait aux exigences actuelles du service. et permet d'étudier à loisir les détails du mode de traction définitif.

Des inclinaisons supérieures à 0,025 existent aussi sur quelques chemins anglais, mais seulement pour de faibles longueurs.

(1) Voir le mémoire intitulé : *Des progrès des machines locomotives*, etc., Annales, des mines, 5e série, t. 1, p. 353.

dérée des dépenses de construction suffirait alors pour réduire l'inclinaison à un taux beaucoup moins onéreux pour l'exploitation. Il serait d'ailleurs imprudent, en général, de compter sur la vitesse acquise pour franchir avec un moteur ordinaire des rampes courtes, mais très-roides ; le moteur doit être, surtout sur une ligne importante, capable de démarrer au besoin en un point quelconque de son trajet.

Courbes.

10. Quant aux courbes, loin d'admettre, comme les rampes, une latitude de plus en plus grande, elles sont, au contraire, assujetties à une limite plus impérieuse que par le passé. Cette tendance est la conséquence immédiate des progrès de la vitesse, ainsi que de l'influence du tracé en plan sur le matériel, et de la défaveur qui frappe aujourd'hui le système américain. Adopté d'abord par les États du Sud de l'Allemagne, à cause de leur territoire accidenté, ce matériel ne put soutenir longtemps la comparaison avec le matériel anglais, dont les exigences pouvaient être d'ailleurs facilement tempérées. Aussi le premier est-il complétement abandonné aujourd'hui en Bavière. L'Autriche le conserve seulement pour le service des marchandises (1). Le Wurtemberg seul, où les idées américaines sont fort en faveur et appliquées du reste avec beaucoup d'intelligence, persiste à l'employer exclusivement sans y être contraint par les exigences du terrain.

Détails sur les points les plus remarquables du tracé.

11. Le tracé des passages les plus remarquables du

(1) Les grands wagons à huit roues sont regardés en Autriche, indépendamment des conditions de tracé, comme mieux appropriés que les autres au transport des marchandises. Cette opinion est professée aussi, quoique d'une manière moins absolue, par les ingénieurs de plusieurs lignes du Nord de l'Allemagne; ainsi ces chemins, qui ont dès l'origine adopté le matériel anglais pour le service des voyageurs, font entrer un certain nombre de wagons américains dans la composition de leur matériel à marchandises (chemins de Berlin à Hambourg, de Berlin à Anhalt, de Leipzig à Magdebourg, de Westphalie, etc.).

réseau allemand, — de Gloggnitz à Murzzuschlag (passage du Semring), de Neuenmarkt à Marktschorgast, de Geislingen à Ulm, — est bien connu en France. Je ne m'y arrêterai pas (1).

Passage des Alpes juliennes.

Le prolongement de la grande ligne de Vienne à Trieste présentait, pour la traversée des Alpes juliennes, des difficultés qu'on a réussi à vaincre, comme on l'espérait, avec un tracé bien plus favorable qu'au Semring. Les rampes ne dépassent pas 0,0166.

Section de Nabresina à Trieste.

Les conditions sont plus satisfaisantes encore pour le difficile accès de la ville de Trieste; les rampes n'excèdent pas 0,012. Le chemin part du nouveau Lazaret; l'emplacement de la gare, parfaitement située d'ailleurs, est conquis à grands frais d'une part sur la montagne, de l'autre, sur la mer, par les remblais. La ligne suit la côte, passe à Contorello, Santa-Croce, et arrive à Nabresina, où doit se détacher la ligne de Trieste à Venise. Cette section de 15,k8, dont les travaux sont poussés avec une très-grande activité, rachète une hauteur de 122m,30 dont 118m,80 sur 10k,7.

Les courbes sont très-multipliées: leur nombre s'élève à 66, et leur développement à 6k,2, c'est-à-dire aux 2/5 de la longueur de la section : mais trois seulement de ces courbes atteignent la limite de 291m, et toutes les autres ont des rayons beaucoup plus grands.

Ligne de Trieste (Nabresina) à Venise.

Le tracé primitivement adopté de Nabresina à Venise, est remis en question malgré l'importance attachée par le gouvernement au prompt achèvement de cette ligne. On a reconnu que ce tracé laisserait les trains exposés pendant la plus grande partie de leur trajet, à des vents dont la violence et la continuité seraient un obstacle très-grave pour le service.

Autres chemins de l'empire autrichien.

La limite des rampes est très-peu élevée sur les autres chemins de l'empire autrichien: 0,010, sur la ligne du Nord, 0,009 sur celles de l'Est, 0,0077 en Lombardie, et sur la ligne du Sud, entre les passages des Alpes Noriques et Juliennes.

Quant aux courbes, les rayons de 380 mètres et au-dessous, jusqu'à 209 mètres, sont très-fréquents partout. En somme, la totalité des chemins exploités présente 73 p. 100 en ligne droite et 27 p. 100 en courbes, généralement fort roides.

Bavière.

En Bavière, aucune rampe n'excède 0,010, si ce n'est celle de Neuenmarkt.

Wurtemberg.

La même limite est admise dans le Wurtemberg : il n'y a qu'une seule exception, la rampe de 0,022 de Geisslingen.

(1) Voir le mémoire précité.

Saxe.

Les chemins saxons ne présentent qu'une rampe exceptionnelle, celle du chemin Saxo-Silésien, à la sortie de Dresde : l'inclinaison est d'abord 0,017 sur 1.700 mètres, et décroît ensuite. La hauteur rachetée sur une longueur de 5.579^m est 78^m,25^m : inclinaison moyenne 0,014.

Cette longue rampe est séparée de la gare par un palier de 680^m. On aurait pu réduire l'inclinaison : mais on a jugé que le voisinage d'une gare aussi importante que celle de Dresde, toujours bien pourvue de machines en vapeur, atténuait beaucoup l'importance d'une semblable réduction. Une fois le sommet de la rampe atteint, le tracé est, jusqu'à la frontière Silésienne, dans les meilleures conditions. L'inclinaison ne dépasse plus 0,0071 et les rayons excèdent 850^m, sauf deux courbes de 454^m, près de Löbau et de Reichenbach.

Sur le Saxo-Bohémien (Dresde à Bodenbach), les brusques inflexions du lit très-encaissé de l'Elbe est forcé d'admettre quelques courbes de 250 mètres.

Sur le chemin de Leipzig aux frontières bavaroises, on a réussi malgré les profondes coupures du terrain, à ne pas dépasser la limite de 0,010, qui n'est même atteinte qu'à partir de Werdau ; mais ces rampes ont une grande longueur, celle de Werdau et Reichenbach a près de 15 kilom. Les rayons ont pour limite ordinaire 610^m, mais s'abaissent quelquefois jusqu'à 168^m dans les stations.

La limite de 0,010 n'est dépassée nulle part sur la ligne de Riesa à Chemnitz ; le plan incliné de 2^k avec inclinaisons de 0,028 à 0,040 mentionné dans une publication de M. Baumgarten (1), ingénieur des ponts et chaussées, et qui avait été effectivement adopté, a pu être évité par un remaniement complet du projet : en présence d'une semblable amélioration du tracé, on doit se féliciter des obstacles qui ont retardé l'exécution de cette ligne.

Hanovre.

Le Hanovre a été conduit à admettre sur la ligne en exécution vers Goëttingue et Cassel, des rampes de 0,0156.

Prusse.

Quelques rampes de 0,012, 0,013, 0,0135, se rencontrent également sur diverses lignes du territoire Prussien, mais toujours sur de très-faibles longueurs, ou quand la limite de 0,010 ne pouvait être respectée, comme elle l'a été par exemple, sur la petite ligne de Saarbruck, sans imposer des dépenses trop considérables.

Limites des rampes et des courbes.

12. 0,010 est, en résumé, le maximum qu'on s'attache partout à ne pas dépasser. — Jusque vers ce point, on regarde l'influence de la rampe comme se réduisant en

(1) Notice sur les chemins de fer allemands en 1844, p. 156.

général à un accroissement de consommation du combustible, si ce n'est cependant pour les trains à charge complète, qui exigent alors du renfort. Au delà, les conditions de la traction sont modifiées ; il faut pour la plupart des trains ou du renfort, ou des machines spéciales.

Quant aux courbes, 5 à 600 mètres est le minimum qu'on cherche aujourd'hui à atteindre, au prix même de sacrifices assez grands. Mais on est surpris de voir les ingénieurs admettre sans scrupule dans les stations des rayons d'une excessive petitesse. Leur influence sur le matériel est d'autant plus destructive, que les manœuvres se font en Allemagne presque exclusivement par les changements de voie.

Points singuliers du réseau allemand. Je termine cette introduction par le relevé de ce qu'on peut appeler les points singuliers du réseau allemand, en considérant comme exceptionnelles, les rampes dont l'inclinaison dépasse 0,010, et les courbes dont le rayon est inférieur à 350 mètres.

CHEMINS.	INCLINAISONS maxima.	LONGUEUR de la plus longue rampe ayant cette inclinaison	RAYON de courbes minima.	OBSERVATIONS.
	millim.	mèt.	mèt.	
Aix à Dusseldorf et Ruhrort.	100,00	143	145,35	Plan incliné à machine fixe.
Aix à Maëstricht	50,00	459	»	Embranchements.
Dusseldorf à Elberfeld	33,33	2.448	»	Plan automoteur.
Gloggnitz à Murzzuschlag	25,00	3.170	190	»
Nuremberg à Hof	25,00	5.385	284	»
Stuttgart à Ulm	22,00	5.235	271	»
Wolfenbuttel à Hartzbourg	21,70	530	»	»
Dresde à Görlitz	17,00	1.710	»	»
Laybach à Nabrésina	16,67	»	»	»
Hanovre à Gœttingue	15,60	9.260	»	»
Vohwinkel à Steele (dit : du Prince-Guillaume)	13,51	»	»	»
Dresde à Bodenbach	13,00	»	291	»
Elberfeld à Dortmund (dit : de Berg et de la Marche)	12,50	»	146	»
Nabrésina à Trieste	12,00	»	291	»
Mecklenbourg	»	»	149	»
Thuringe	»	»	177	»
Duché de Bade	»	»	180	»
Main au Necker	»	»	188	»
Elmshorn à Gluckstadt (Holstein)	»	»	203	»
Saarbruck	»	»	320	»
Cologne à Minden	»	»	320	»

PREMIÈRE SECTION.

TRAVAUX D'ART.

On ne doit pas s'attendre à trouver ici une description complète des travaux d'art des chemins de fer allemands. Quelques détails sur les ouvrages les plus importants ; des indications sommaires sur d'autres, de dimensions fort ordinaires, mais remarquables par certaines particularités, composeront cette rapide revue, dans laquelle j'insisterai seulement sur les types de travaux qui n'ont été appliqués jusqu'ici en France que sur une échelle restreinte, tels que les ponts en tôle, et en charpente. Divers renseignements, incomplets ou médiocrement intéressants par eux-mêmes, ont d'ailleurs été conservés comme pouvant contribuer à faire connaître l'état actuel de l'art des constructions en Allemagne.

§ I. — PONTS ET VIADUCS EN MAÇONNERIE (1).

PONTS.

13. Les constructeurs allemands ne manquent assurément pas de hardiesse, mais ce n'est pas dans leurs ponts en maçonnerie que cette qualité se révèle. 28 à 29 mètres pour l'ouverture, 1/5 ou tout au moins 1/6 pour la flèche, sont des limites qu'ils ne franchissent presque jamais, qu'ils atteignent même très-rarement dans le même ouvrage. Ce n'est ni par habitude ni parce qu'ils

Timidité des constructeurs allemands en matière de voûtes.

(1) Ces deux dénominations, souvent employées indifféremment, semblent cependant devoir s'appliquer à des objets dis-

jugent qu'elles sont assez larges, et qu'il n'y aurait pas d'intérêt bien réel à les dépasser : la seconde limite, surtout, est érigée en précepte, au nom de la prudence. Une instruction générale sur la construction des ponts, élaborée par l'administration des travaux publics du Hanovre, et dont les ingénieurs des autres États acceptent volontiers les prescriptions, pose en principe que la flèche ne doit s'abaisser au-dessous d'un sixième qu'en cas de nécessité absolue ; et quand d'ailleurs les matériaux sont excellents, et la hauteur disponible assez grande pour permettre l'interposition de $0^m,30$ de ballast au moins, entre le sommet des voûtes et les traverses.

On comprendrait qu'on assignât des limites corrélatives à la flèche et à l'ouverture, mais on ne comprend pas qu'on fixe l'une, indépendamment de l'autre. Si, en effet, les petites flèches sont suspectes, de grandes ouvertures, et à fortiori la coexistence des unes et des autres, doivent l'être par la même raison ; car, ce qu'on a à redouter, c'est l'exagération de la poussée.

Discussion des limites admises au Hanovre pour les ouvertures et les flèches.

14. Or, la poussée d'une voûte en arc surbaissée est, ou exactement ou à peu près, la même que celle de la voûte en plein cintre à laquelle elle appartient. Exactement, si le demi-angle au centre est plus grand que l'angle appelé improprement *angle de rupture* (1) ; à peu

---

tincts. J'appellerai *ponts* les ouvrages établis sur des cours d'eau relativement assez importants pour influer et sur le mode de fondations de la plus grande partie de l'ouvrage, et sur sa forme générale par les conditions de débouché. J'appellerai *viaducs* ceux qui ne franchissent pas de cours d'eau, ou qui en franchissent d'insignifiants relativement à l'importance de l'ensemble de la construction : ceux qui pourraient, en un mot, être remplacés par des remblais, avec ou sans passage voûté.

(1) L'angle qu'on nomme ainsi est, en réalité, celui du voussoir de *plus grande poussée de rotation*. Une rupture s'y produit en effet quand l'équilibre est rompu ou tend à se rompre, mais cette rupture n'est qu'un effet consécutif. Le véritable *angle de rupture* est celui du joint auquel correspond le mouvement virtuel de rotation de la portion de voûte qui se renverse, en tournant autour de l'arête d'extrados, par suite de l'excès du

près, si cet angle est plus petit, car la fonction varie lentement aux environs de son maximum; le voussoir qui, par sa tendance à *tourner* autour de l'arête d'intrados de son joint inférieur ou à *glisser* sur ce joint, vient exercer sur le joint fictif de la clef la pression maximum, est, à égalité de rayon, tout à fait ou presque indépendant du degré de surbaissement. La poussée, pour les voûtes les plus usitées, c'est-à-dire les voûtes circulaires, dépend donc essentiellement du rayon d'intrados (ainsi que l'illustre Perronnet l'avait parfaitement compris, quand il ne faisait entrer que cette seule variable dans sa formule empirique des épaisseurs à la clef).

Si donc on veut fixer une limite, c'est au rayon qu'elle doit s'appliquer; mais elle varierait évidemment avec la nature des matériaux : il y a pour chaque espèce, un maximum que le rayon d'intrados ne peut dépasser, quelle que soit l'épaisseur (1), comme il y a, pour les ponts suspendus, une limite au rapport de la flèche à l'ouverture, quelle que soit la section des câbles. Cette limite théorique est facile à assigner dans

---

moment de la poussée, relativement à cette arête, sur le moment de stabilité : cette rotation s'effectue comme on sait autour de l'arête du joint de naissance pour les voûtes en plein cintre ou surbaissées, et autour de l'arête d'un joint intermédiaire pour les voûtes surhaussées. Le voussoir *de plus grande poussée* comprend toute la demi-voûte dans le premier cas et seulement une partie dans le second; tandis qu'au contraire l'angle *de rupture* s'étend seulement jusqu'aux reins dans l'un, et jusqu'aux naissances dans l'autre; ce qui explique les apparences inverses que présente la rupture dans ces deux catégories de voûtes (Pl. VI, *fig.* 12).

Pour les voûtes très-épaisses, pour lesquelles la poussée de glissement l'emporte sur celle de rotation, et est par suite la poussée effective, l'égalité des poussées a toujours lieu pour la voûte en plein cintre et pour les voûtes en arc de même rayon à cause de la petitesse de l'angle *de plus grande poussée* ou simplement *de poussée* (28°).

(1) Il est presque inutile de faire remarquer que les plates-bandes, à cause de l'obliquité de leurs joints, ne sont pas la limite des voûtes en arc.

chaque cas, et la limite pratique lui est d'autant plus inférieure que l'exécution est moins parfaite.

Quand on ne dispose que de matériaux d'une résistance médiocre, il faut évidemment s'interdire les grands rayons ; mais on ne peut admettre, avec beaucoup d'ingénieurs allemands, qu'une grande ouverture et une petite flèche doivent inspirer de la défiance par elles-mêmes, indépendamment de la nature des matériaux, et qu'on ne puisse pas, sans témérité, dépasser des limites auxquelles correspond un rayon de 24^{m},20 seulement.

Si, en effet, partant d'une voûte en plein cintre de même rayon qu'une voûte en arc donnée, on suppose que les naissances se relèvent successivement, la courbe des pressions ne change pas théoriquement ; mais en pratique elle change en ce sens que l'influence du tassement, proportionnée au nombre des joints, est de plus en plus atténuée. La concentration des pressions vers les arêtes, qui accompagne les déformations dues aux tassements, est donc moins à craindre dans une voûte surbaissée que dans la voûte en plein cintre de même rayon sous la condition, bien entendu, d'une immobilité absolue des culées. Cette condition exige il est vrai, en ce qui concerne le danger d'un glissement vers les assises supérieures des culées, plus de précautions pour la voûte surbaissée, parce que son poids est d'autant moindre. Mais il faut toujours que cette condition soit satisfaite, et elle peut toujours l'être : et alors, loin d'aggraver l'incertitude qui règne sur la répartition des pressions, sur la grandeur de la charge maximum par unité de surface des joints, le surbaissement l'atténue, au contraire, à égalité de rayon.

Il l'atténue aussi à ouverture égale, par suite du développement décroissant de l'arc. La poussée croît rapidement quand la flèche diminue [à peu près dans le rapport inverse des quarrés des sinus des demi-angles

au centre (1)], ce qui exige des culées plus stables et des matériaux plus durs; mais si l'exécution devient plus difficile, elle ne laisse pas plus au hasard, à l'inconnu; les exigences de la stabilité sont plus impérieuses, mais elles ne sont pas plus indéterminées, au contraire.

Les chemins de fer allemands présentent, sans contredit, quelques beaux exemples de ponts; mais presque tous se ressentent plus ou moins de la timidité du constructeur, même ceux pour lesquels il avait à sa disposition des matériaux en quelque sorte hors ligne.

Causes de la supériorité des ingénieurs français dans la construction des voûtes.

Pour cette importante catégorie de travaux, l'Allemagne est relativement à la France dans un état d'infériorité manifeste. Il est vrai que chez nous l'abondance et la bonne qualité des matériaux, le cachet de durée et l'aspect monumental qu'on tient à donner aux travaux publics, ont fait aux ingénieurs, plus que partout ailleurs, une véritable spécialité des ouvrages de maçonnerie. La timidité de leurs confrères d'outre-Rhin dans la construction des voûtes tient d'ailleurs en partie à ce que l'art des fondations hydrauliques est moins avancé chez eux. On suit sans doute les mêmes méthodes, mais avec moins de critique dans l'application, moins de sûreté de coup d'œil dans le choix de celle qui convient à un terrain donné. Le battage des pieux est quelquefois adopté légèrement et hors de propos; l'emploi du béton, moins répandu; sa fabrication et son emploi, moins soignés; les mesures contre les affouillements, incomplètes, etc. La défiance dont les voûtes à petite flèche et à grande portée sont l'objet, tient donc en partie à un défaut de confiance dans la stabilité des piles, défaut justifié d'ailleurs par divers exemples.

Inconvénients des limites admises en Allemagne.

15. En multipliant ainsi les points d'appui, surtout

(1) En supposant les voûtes *semblables*, hypothèse toute naturelle, puisque l'épaisseur doit croître avec la poussée, c'est-à-dire avec le surbaissement, ou avec le rayon.

quand la hauteur est très-limitée, on aggrave la dépense des fondations, qui croît, toutes choses égales d'ailleurs, avec le nombre des piles; et, ce qui est pis encore, on est plus disposé, par suite même de l'élévation de cette dépense, à tenter sur les fondations des économies compromettantes. En même temps on restreint le débouché, on favorise l'action destructive des crues et des débâcles : on a, en un mot, avec une dépense égale si ce n'est même plus grande, une stabilité moindre.

Utilité pour les voûtes des mortiers à prise très-rapides et très-durs.

16. Il est vrai que l'emploi du mortier de ciment romain, si bien approprié à la construction des grandes voûtes, et dont on commence à tirer en France un si bon parti, est encore presque nul en Allemagne; mais ce n'est pas seulement parce qu'il y serait plus dispendieux, c'est aussi parce que ses avantages y sont moins bien appréciés.

Le ciment romain est cependant, par l'ensemble de ses propriétés, l'élément par excellence des mortiers qui entrent dans la construction des voûtes. Sa prise rapide (trop rapide même) permet de faire en toute sûreté un décintrement immédiat : sa résistance à la compression annulle presque complétement le tassement, et les concentrations de pression qui en sont la conséquence. Cette résistance même, égale à celle des meilleures pierres, supprime la taille et permet l'emploi de matériaux bruts, quelconques, pourvu qu'ils soient assez durs. L'épaisseur des joints n'est plus limitée que par une seule considération, celle de l'économie; or l'élévation du prix du ciment est rachetée en grande partie par la suppression de la main-d'œuvre et des déchets de la taille. Il y a lieu d'être surpris que l'emploi du ciment appliqué en Allemagne dès 1848, comme on va le voir, ne s'y soit pas généralisé.

Les détails dans lesquels je vais entrer sur les principaux ponts en maçonnerie me dispensent de développer plus longuement les appréciations qui précèdent.

Pont de Wronke sur la Warthe (chemin de Stargard à Posen).

Détails sur les ponts les plus remarquables.

Pont sur la Warthe à Wronke (Pl. VI, fig. 1 et 2).

17. Le chemin de Stargard à Posen, prolongement de la ligne exécutée antérieurement de Stettin à Stargard, traverse trois voies navigables : près de Kreutz, la Netze, la Drage, son affluent; puis près de Wronke, la Warthe, qui reçoit elle-même les eaux de la Netze. Les trois ponts sont en briques, sauf les avant-becs, construits en grès. Le dernier seul est important; il a 194^{m} de long, est établi à 12^{m},60 au-dessus des eaux moyennes, et se compose de quatre grandes arches, et de quatre petites arches d'inondation. La Warthe, navigable depuis Posen, est sujette à de fortes crues et charrie souvent.

Les grandes voûtes ont 23^{m},23 d'ouverture, et un peu moins de 1/5 pour flèche; leur épaisseur est constante et égale à 1^{m},413.

Briques posées en rouleaux.

Les briques sont posées *en rouleaux*, comme en Angleterre : cette disposition est convenable pour les voûtes construites en matériaux à lits parallèles, parce qu'elle rend à peu près insensible l'inégalité d'épaisseur des joints aux deux bouts d'une même pierre et l'influence de ces inégalités sur le tassement.

Il y a trois rouleaux : celui de l'intrados, de deux briques; les deux autres d'une et demie chaque.

Composition du mortier, variable d'un rouleau à l'autre.

Le mortier a varié de composition d'un rouleau à l'autre.

Il était formé :

Pour celui d'intrados, de 1 p. de ciment de Portland et 1 p. de sable.

Pour celui du milieu de 1 de ciment et 2 de sable.

Pour celui d'extrados, de 1 de ciment et 3 de sable.

Cette répartition est peu motivée. Ce n'est pas d'une zone concentrique à une autre, mais d'un segment à l'autre de la voûte, qu'il pourrait être utile de faire varier la composition du mortier. Le plus riche en ciment devrait être appliqué aux régions dans lesquelles les pressions tendent à se concentrer sur une petite surface, c'est-à-dire vers les naissances pour le rouleau inférieur, vers la clé pour le supérieur. L'excès de ciment employé dans la région moyenne de l'un, eût été mieux placé dans la partie correspondante de l'autre.

Avantages du ciment romain combiné même avec la brique ordinaire.

Quant à la combinaison du ciment romain avec la brique, elle ne saurait être critiquée, quand même il s'agirait de briques de qualité inférieure; car si on ne peut alors utiliser complétement la résistance du ciment, on utilise du moins la rapidité et l'uniformité de sa prise, et l'influence si favorable de cette

propriété sur le tassement, et par suite sur l'état final d'équilibre de la voûte. Quoique moins prononcés pour la brique que pour les matériaux bruts, à cause de la régularité de sa forme et de sa résistance ordinairement médiocre, les avantages du ciment sont donc encore très-réels. D'ailleurs la brique employée ici était d'une qualité exceptionnelle. L'expérience a donné en moyenne, pour sa résistance à l'écrasement, 130 kil., chiffre bien rarement atteint par la brique, et qui place celle-ci sur la même ligne que le mortier le plus dur fait avec nos ciments de Pouilly et de Vassy (c'est-à-dire celui qui renferme des volumes égaux de sable et de ciment.

L'argile employée à la fabrication d'une grande partie de ces briques provenait du lit même de la rivière et de ses bords. Les déblais des fouilles ont même été utilisés pour cet usage. Cette argile était très-pure, ni calcaire ni ferrugineuse, et on la mélangeait avec 1/3 de sable. Les deux espèces de briques mises en œuvre ont des teintes très-différentes, l'une claire, l'autre foncée, et dont on a tiré un parti assez heureux pour l'aspect du pont.

Cintres. L'activité de la navigation, pendant l'été, avait déterminé à exclure des cintres (*fig.* 1) tout support intermédiaire. Aussi n'avaient-ils pas la rigidité nécessaire. Un approvisionnement convenable de matériaux sur le sommet, a suffi, du reste, pour rendre leur forme sensiblement invariable pendant la construction des reins.

Décintrement. Le décintrement eut lieu quatorze jours après la fermeture des voûtes ; il suffit de chasser très-légèrement les cales des poteaux pour rendre les cintres complétement libres (1), ce qui confirme l'extrême petitesse du tassement des voûtes maçonnées en ciment. Le même fait a été observé tout récemment, de la manière la plus nette, au décintrement des grandes arches de 34^m,50, surbaissées au 1/8 (rayon, 36^m,67), du pont du chemin de fer de ceinture, à Bercy. Les sacs de sable disposés, suivant la méthode connue, pour régler l'abaissement du cintre et empêcher la voûte de prendre de la vitesse, ont été complétement inutiles ; les voûtes ne suivaient pas sensiblement les cintres.

(Marginal note: Exemple du pont de Bercy.)

Voûtes dans les tympans. Le pont de Wronke a encore quelque analogie avec le pont de Bercy sous deux autres rapports ; la nature du terrain, et l'é-

(1) Par excès de précaution, on les laissa en place pendant quelques jours, mais sans qu'ils reprissent charge le moins du monde.

videment des tympans. Ils sont élégis par un système de petites voûtes longitudinales *v*, *v* (*fig.* 1 et 2), aboutissant sur chaque pile à une galerie transversale, *u*; mais cette disposition ne figurait pas dans le projet et a été introduite après coup, par suite de quelques mouvements inquiétants des piles, qui imposaient l'obligation de mettre tout en œuvre pour réduire leur charge.

Le fond est formé d'un banc d'argile, de 12 à 22 mètres de puissance, qui affleure sur l'une des rives, et plonge ensuite sous une couche de sable d'épaisseur croissante. Les piles en rivière ont été fondées sur pilotis et grillage. Les pieux ont 9m,40 de long et 7m à 7m,50 de fiche; leur refus était de 0m,02 par volée de trente coups d'un mouton en fonte de 900 kil., manœuvré à tiraudes (1). L'enceinte était formée de palplanches de 9m.40 de long, assemblés à rainure et languette (2). **Fondations.**

Ces pieux battus, on installa sur eux un échafaudage qui servit au battage des pieux de fondation. On fit alors l'épuisement au moyen de pompes à vapeur. Pour obtenir des joints étanches, on avait ménagé entre la languette et le fond de la rainure un intervalle, *i*, dans lequel on refoulait, avec un bourroir, de l'étoupe imprégnée de ciment de Portland. On faisait aussi dans le joint lui-même, en *a*, *a* (*fig.* 2), un véritable calfatage au moyen d'étoupe, de ciment, et de petits fragments de briques. Tous ces soins minutieux réussirent complétement.

(1) On employait pour cette manœuvre 55 sonneurs, nombre exagéré et très-peu favorable à l'ensemble, et par suite à l'économie du travail. Mais on a battu aussi à déclic, et on a été conduit à regarder la sonnette à tiraudes comme bien préférable pour le battage dans le sable, à cause de la lenteur de la manœuvre à déclic et de l'influence très-prononcée du temps sur la résistance à l'enfoncement dans ce terrain. Il était donc essentiel surtout que les coups se succédassent rapidement. — C'était l'inverse pour le battage dans l'argile.

(2) On a eu, dans le courant de ce travail, à extraire trois palplanches qui refusaient absolument d'avancer, soit à tiraudes, soit à déclic. On essaya, mais sans succès, d'employer d'abord la sonnette et le câble de mise en fiche, puis un grand levier et une chaîne. On ne réussit qu'en installant sur les moises de l'enceinte, de part et d'autre de la palplanche à extraire, deux verrins à vis en fer, et en virant sur une grosse barre de fer, liée à la palplanche par une broche et des estropes. On trouva les fibres des bouts épanouies de part et d'autre du milieu, et indiquant la présence d'un corps très-dur. On détermina ses limites par des sondages, et on prit le parti de le comprendre dans l'enceinte.

La première pile, de 13m,18 de long et 4m,39 de large, fut mise à sec en trois heures, sous une charge d'eau de 1m,40, par deux pompes mues par une machine de douze chevaux. Il se formait çà et là quelques renards qu'on étouffait facilement.

Béton.

L'épuisement fait, on recépa les pieux au *passe-partout*, et à une profondeur telle que le plancher fût exactement au niveau des plus basses eaux. Avant de poser les traversines, on dragua à vif entre les têtes des pieux, et on remplit l'intervalle, sur une épaisseur de 0m,94, de béton préparé à pied-d'œuvre sur l'échafaudage, et composé de cailloux, de brique cassée, et de mortier contenant :

1 partie de chaux hydraulique.
1 — de trass.
1 — de ciment de brique.

Ce béton était massivé à la dame. On suspendait l'épuisement pendant le bétonnage. Au bout de trente-six heures la prise était complète; alors on mettait le béton sec, et on posait les traversines, qu'on fixait sur les pieux par des broches en fer, puis le plancher.

Les piles de la rive droite, qui reposent immédiatement sur l'argile, ont été fondées aussi sur des pieux enfoncés à 7 mètres environ, et dont le refus était 0m,007 au plus par coup d'un mouton de 675 kilgrammes, tombant de 4m,71 (0mm.,0022 par kil. mèt.).

Sur la rive gauche, le sable, très-ferme, recouvrait, sur une épaisseur de 4m,70 à 6m,30, un schiste argileux : les pieux pénétraient très-difficilement dans ce sable; un mouton de 900 kilogrammes tombant de 4m,70, ne pouvait guère les enfoncer à plus de 3m. — Toutes les piles ont été cependant fondées de la même manière, avec plate-forme en béton saisissant les têtes des pieux.

Mouvements des fondations.

On commençait à remplir les reins, lorsqu'on remarqua vers la droite un affaissement général, qui atteignait 0m,144 pour la pile de rive et respectivement 0m,091, et 0m,025 pour les suivantes. L'amplitude de l'affaissement était donc en raison inverse de l'épaisseur du banc de sable recouvrant l'argile. Cette observation devait suffire pour exclure la supposition des affouillements, à laquelle on s'arrêta cependant d'abord, parce que les enrochements n'étaient pas encore faits. Mais un examen attentif prouva qu'elle n'avait rien de réel. Les mouvements observés ne pouvaient donc être attribués qu'à l'insuffisance du nombre des pieux ou à celle de leur longueur de fiche;

Ils n'étaient pas causés par des affouillements.

en un mot, à la faiblesse des fondations des piles établies sur l'argile. On s'attacha donc à diminuer la charge : telle fut l'origine de l'élégissement des tympans.

Les petites voûtes, construites en briques et mortier de ciment romain, sont extradossées horizontalement et recouvertes d'un double carrelage. — La forme est en brique cassée, qui constitue un ballast plus léger que tout autre, et recouverte seulement d'une mince couche de gravier. Les rails sont sur traverses, mais celles-ci reposent sur des longrines auxquelles elles sont boulonnées.

Pont sur l'Elbe, à Dresde.

18. Ce grand travail, commencé en 1846 et terminé en 1851, par MM. Lohse et Riedrich, a comblé la lacune que présentait la ligne de Berlin à Vienne par Dresde et Prague; il réunit la gare du chemin Saxo-Bohémien à celles, juxtaposées, des lignes de Dresde à Berlin et Leipzig d'une part, et à Görlitz de l'autre. *Pont sur l'Elbe, à Dresde* (Pl. VI, fig. 3 et 4).

Il se compose du pont sur l'Elbe et d'une série d'arcades, au nombre de 59, qui se prolonge sur la rive gauche. Sa longueur totale est 1.740 mètres.

Le pont proprement dit a 408 mètres de longueur et se compose de douze arches de $28^m,33$ d'ouverture en anse de panier et surbaissées au 1/4 à peu près (flèche, $7^m,36$).

Sept arches occupent le lit ordinaire du fleuve, les cinq autres appartiennent au débouché d'inondation. L'axe est rectiligne sur une moitié de la longueur, et courbe sur l'autre. (Rayon, 478^m).

Des treize piles en rivière, dix ont $4^m,53$ d'épaisseur; les trois autres, c'est-à-dire les culées et la pile intermédiaire, ont une épaisseur plus grande de moitié. Cette surépaisseur de la pile du milieu a permis de répartir sur deux campagnes la construction des voûtes.

Les avant et arrière-becs ont une forme ovoïdale regardée comme celle qui offre le minimum de résistance.

Épaisseur des voûtes	à la clef.	$1^m,18$
	aux naissances. . . .	$1^m,65$

Le pont est double : un côté est affecté au chemin de fer et l'autre à la circulation ordinaire. Cette communication était

impérieusement réclamée par le développement de la ville en aval du vieux pont. La largeur entre les garde-corps, qui est de 17 mètres, n'est pas divisée également : la route ordinaire a la grosse part, $9^m,06$; et le chemin de fer, $7^m,94$.

Les voies se raccordent avec la gare de Berlin et Leipzig, au moyen d'une rampe de 0,013, en courbe.—Le pont est en palier.

Tout ce grand travail, y compris le viaduc, est construit en grès tiré des excellentes carrières des bords de l'Elbe (Suisse saxonne).

Fondations. Le fond de l'Elbe est de gravier ; néanmoins les piles en rivière ont été fondées sur pilotis, avec enceintes paraffouilles et enrochements ; celles de rive ont été fondées sur béton.

Pont sur le Neckar, à Ladenbourg (duché de Bade).

Pont de Ladenbourg (Pl. VI, *fig.* 5). 19. Le chemin du Mein au Neckar, construit par les gouvernements de la Grande-Hesse, de Francfort, et de Bade, possède deux ponts remarquables : celui de Francfort, sur le Mein, et celui de Ladenbourg, sur le Neckar.

Celui-ci est formé de sept arches de 27 mètres d'ouverture surbaissées au 1/8 (rayon, $29^m,28$).

		mètres.
Épaisseur	des voûtes à la clef	1,20
	des piles aux naissances	3,00
	des culées	12,00
Largeur extérieure du pont		9,60
Longueur du pont		231,00

Rétrécissement du lit. La longueur n'a pu être réduite à ce chiffre que par des travaux d'endiguement considérables, la largeur du lit naturel s'élevant à près de 400 mètres sur l'axe du chemin, qui le rencontrait d'ailleurs obliquement.

L'obligation de restreindre le moins possible le débouché, surtout pour une rivière sujette, comme le Neckar, à charrier par des eaux assez hautes, et le niveau peu élevé du chemin de fer, imposaient presque nécessairement des ouvertures et un surbaissement inusités au delà du Rhin, et devant lesquels on eût probablement reculé dans d'autres parties de l'Allemagne (13).

La dépense du resserrement du lit, dont la navigation recueille d'ailleurs le fruit pendant les basses eaux, était, du reste, hors de proportion avec l'économie obtenue par la réduction de la longueur du pont.

De nombreux sondages, poussés jusqu'à 6 mètres seulement (limite de la profondeur accessible aux petites sondes dont on disposait), avaient indiqué seulement un banc de gravier bien continu et à grains de grosseurs croissantes avec la profondeur; déjà à $4^m,50$ sa dureté était extrême : tout indiquait que des pieux y pénétreraient avec une grande difficulté, et comme il était très-peu probable que ce banc de gravier recouvrît un terrain décidément mauvais, on prit, fort à propos, le parti de rompre avec l'usage, pour ainsi dire consacré, des fondations sur pilotis, et d'établir les piles sur des plates-formes en béton. **Fondations.** **1° Sur béton.**

Il a été immergé, sur une épaisseur de $1^m,50$, après dragage à vif du gravier, dans une enceinte formée de pieux de $0^m,15$ d'épaisseur, enfoncés à 3 mètres en contre-bas du béton. L'enceinte est flanquée d'enrochements fixés par de gros pieux battus irrégulièrement.

La continuité du banc de gravier étant interrompue, vers la rive droite seulement, par quelques nids d'argile, la culée de ce côté et la pile voisine ont été fondées sur pilotis et grillage, et par la méthode des caissons foncés, qui a paru, dans ces circonstances, beaucoup plus simple et moins coûteuse que la fondation par épuisement dans une crèche. Les bordages des caissons avaient $4^m,20$ de hauteur. **2° Par caissons foncés.**

Ce pont est construit en grès du Neckar, avec tous les parements en pierre de taille. Commencé en 1844, il n'a été terminé qu'en 1848, après de nombreuses vicissitudes. Les maçonneries, qui n'avaient pas encore dépassé les hautes eaux, avaient surtout beaucoup souffert des crues de 1845. La dépense s'est élevée à 1.800.000 fr., non compris les travaux d'endiguement. Ce chiffre ne comprend pas non plus les frais de construction d'un pont provisoire en charpente, établi pour satisfaire aux conditions de délai stipulées entre les trois États contractants. Ce pont, construit en sapin, à une seule voie, et formé, comme le pont définitif, de sept travées de 27 mètres, a fait un bon service pendant deux ans.

Pont sur le Mein, à Francfort.

20. Ce pont, plus surbaissé encore que le précédent, et unique sous ce rapport, se compose de huit arches de 20 mètres au 1/10 (rayon, 26^m), et d'une travée mobile *Pont de Francfort.*

nécessitée par les bateaux à mâts fixes du Rhin, qui remontent le Mein jusqu'au vieux pont de Francfort.

Les piles, établies sur le rocher, à l'exception de deux fondées sur pilotis, n'ont que 2 mètres d'épaisseur; tout le pont est construit en grès du Neckar.

Travée tournante. Le chenal côtoyant la rive gauche, la travée mobile est accolée à celle-ci : c'est un pont tournant sur poutres en tôle, ayant son enclave sur la rive; le levier au moyen duquel on abaisse les supports des extrémités de la volée manœuvre également, pendant le jour, le disque qui couvre le pont, et pendant la nuit, le diaphragme qui démasque la lumière rouge du fanal; de sorte que le signal qui interdit le passage précède à coup sûr le déplacement du pont.

Il y a deux voies, bordées de chaque côté d'un trottoir pour les piétons avec escaliers d'accès (1). La plus ancienne avait été posée sur des dés enchâssés dans la maçonnerie en brique qui remplace très-désavantageusement le ballast. Ces dés se dérangeaient par les trépidations, disloquaient la maçonnerie, et y frayaient un passage à l'eau; aussi la seconde voie a-t-elle été posée sur longrines. — Ce pont a coûté 1.470.000 francs.

Pont sur l'Adige, à Vérone.

Pont de Vérone (Pl. VI, *fig.* 6, 7 et 8). 21. Ce pont, terminé tout récemment et construit par M. Négrelli, ingénieur en chef des chemins de fer en construction dans la Lombardie et le Tyrol, est un des plus beaux ouvrages qu'on rencontre sur les chemins de fer de l'Allemagne et de ses dépendances.

Il est formé de cinq arches de 29 mètres d'ouverture, au 1/6 (rayon, 23^{m},80), et construit en calcaire blanc coquillier jurassique, pierre d'excellente qualité tirée des carrières de Montorio, à 30 kil. de Vérone.

(1) Une des voies seulement appartient à la ligne du Main-au-Neckar, et l'autre au petit chemin d'Offenbach; celle-ci n'est, du reste, parcourue que par des trains vides. Les voyageurs trouvent économie de temps et d'argent à prendre et à quitter le chemin sur la rive gauche, à la station de Sachsenhausen, plus rapprochée du centre de la ville que la station de Francfort.

	à la clef,	aux naissances.
	mèt.	mèt.
Épaisseurs des têtes.	1,60	1,85
Epaisseur du reste de la voûte.......	1,30	1,60

	mèt.
Epaisseur des piles.......	5,00
Epaisseur des culées avec passage voûté de 4 mètres....	20,00

Chambres dans les piles.

Chaque tête se compose de cinquante-cinq voussoirs d'un seul morceau. L'autorité militaire a exigé qu'on ménageât les moyens d'interrompre très-facilement les communications entre les deux rives. C'est pour remplir cette condition qu'on a intercalé de chaque côté, entre la culée et le remblai, deux petites arches en briques *a*, *a* (avec têtes en pierre de taille), dont la pile intermédiaire renferme des chambres de mine. Ces petites arches, utiles d'ailleurs pendant les hautes eaux, pourraient sauter sans que le corps de l'ouvrage eût à souffrir ; mais plus tard le génie ne se contenta pas de cette faculté de destruction partielle, et exigea, en vue d'éventualités extrêmes, qu'on pratiquât également des chambres dans les deux piles de rive.

Battage des pieux à la vapeur.

Le pont est fondé sur des pieux en mélèze espacés de 1 mètre d'axe en axe, au centre, et de $0^m,50$ vers le pourtour. On se servait d'abord de sonnettes à tiraudes, mais on prit bientôt le parti d'organiser un atelier de battage à vapeur. La machine faisait tourner un treuil portant quatre manchons à embrayage mobile, de sorte que quatre sonnettes travaillaient simultanément. Deux ouvriers étaient affectés à chacune d'elles.

Les crèches étaient formées d'un corroi d'argile pilonnée entre deux enceintes ; l'une extérieure en palplanches, l'autre en béton à prise presque instantanée, composé de chaux hydraulique, pouzzolane et gros ciment de brique. Ces crèches étaient mises à sec par des vis d'Archimède mues d'abord à bras d'hommes, puis à la vapeur ; le grillage était installé à 3 mètres au-dessous des basses eaux, et les intervalles des pieux étaient garnis, jusqu'à 2 mètres en contre-bas du grillage, du mélange employé pour la construction de l'enceinte.

L'ouvrage terminé, les pieux d'enceinte ont été recépés au niveau des plus basses eaux; on a exécuté tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des enrochements considérables. Le régime de l'Adige est fort irrégulier; elle est souvent torrentielle, et exige qu'on se prémunisse avec beaucoup de soin contre les affouillements.

Il y a de chaque côté des voies un trottoir porté par les consoles de la corniche ; il est bordé vers les voies par des balustres en pierre, et à l'extérieur par un léger garde-corps en fonte.

Pont de Rosenheim sur l'Inn (ligne de Munich à Salzbourg).

Pont sur l'Inn à Rosenheim.

22. Ce pont, encore inachevé, est l'ouvrage capital du chemin de fer de Munich à Salzbourg : il est fondé sur pilotis et grillage, formé de sept arches de 21^m,9 d'ouverture, au 1/5 (rayon, 15^m,80), et construit entièrement en pierre de taille des meilleures carrières du pays. L'épaisseur des piles est : 3^m,50, celle des culées : 11^m,70, avec passage voûté de 4^m,60 : celle des voûtes, à la clef : 1^m,16. La dépense totale est évaluée à 968.000 francs.

Pont sur le Weser, près Minden (chemin de Cologne à Minden).

Pont de Rehme.

23. Cet ouvrage comprend : 1° le pont proprement dit, formé de cinq arches de 19 mètres au 1/6 et de deux petites arches de 7^m,50 dans les culées ; 2° un pont de décharge, séparé du premier par un terre-plein de 300 mètres, et formé de 9 arches de 11^m,30.

Épaisseur des piles du pont principal. . . .	3^m,00
Idem. des voûtes à la clef.	1^m,10
Idem. des voûtes à la naissance.	1^m,50

Tout l'ouvrage est construit en grès de Porta, sur les bords du Weser.

Fondations.

Le fond est formé de gravier recouvrant sur 5^m,60 d'épaisseur, des couches d'un schiste argileux très-solide.

Les piles et culées ont été fondées, dans un encaissement en palplanches, sur une plate-forme en béton de 2^m,60 d'épaisseur, avec enceinte intérieure en béton de 3^m,50 de hauteur.

Radier général en double enrochement.

Le lit du Weser étant très-sujet aux affouillements, on a formé entre les piles une sorte de radier général composé : 1° de fascines remplies de pierres ; 2° d'un enrochement supérieur en gros blocs, qui se relève de chaque côté jusqu'au niveau des basses eaux.

L'épaisseur minimum de ce radier — fascinage et enrochements — s'élève à 2^m,20 ; il a exigé 36.380 mètres cubes de pierres.

La dépense s'est élevée à 1.642.800 fr., dont 1.081.000 fr. pour le pont principal.

Les brise-glaces en charpente qui protégent les quatre piles de ce dernier ont coûté 40.000 francs.

Pont de Hallstadt, près de Bamberg, sur le Mein (ligne de Francfort à Bamberg).

24. Ce pont est formé de huit arches de 17^{m},50 d'ouverture, au 1/5, et fondé sur pilotis. On tenait à terminer très-promptement la ligne de Bamberg jusqu'à Schweinfurt, et on mit en conséquence en réquisition tous les matériaux de bonne qualité qu'on trouvait aux environs. Aussi les piles sont-elles les unes en granite, les autres en dolomie, et les voûtes en grès. Ce pont a coûté 371.000 francs et a été construit en dix-sept mois, à dater du battage du premier pieu, rapidité peu remarquable ailleurs, mais inusitée en Allemagne. *Pont de Hallstadt.*

25. Les ponts en pierre sont assez multipliés sur les chemins bavarois, mais ceux qui précèdent présentent seuls quelques particularités. Je me bornerai à mentionner les autres: *Autres ponts en pierre des chemins bavarois.*

1° Pont sur la Regnitz, près de Nuremberg : cinq arches de 22^{m},10 en plein cintre ; prix, 696.000 fr.

2° *Id.* sur la Saale, à Unterkotzau, près de Hof: huit arches de 14 mètres ; prix, 502.700 fr.

3° *Id.* sur la même rivière, à Motschendorf, au sud de Hof: neuf arches de 14^{m},60 au 1/5; prix, 338.900 fr.

4° *Id.* sur l'Altmuhl (rivière qui se jette dans le Danube à Ketheim près de Ratisbonne) à Gunzenhausen : neuf arches de 14^{m},60 au 1/5; prix, 250.000 fr.

5° *Id.* sur la Wörnitz à Œttingen (le chemin de fer traverse plusieurs fois cette rivière qui se jette dans le Danube à Donauwörth, mais les autres ponts sont en charpente) : cinq arches de 14^{m},60 au 1/6 ; prix, 277.600 fr.

6° *Id.* sur la Wertach (à Kaufbeuren), affluent de la Leech à Ausbourg : quatre arches de 14 mètres ; prix, 301.000 fr.

26. On a appliqué à la construction de ces ponts, et entre autres à ceux du Main et de la Regnitz, une disposition de grues roulantes que M. Pauli regarde comme remplissant parfaitement les deux conditions d'économie et de rapidité pour la pose des matériaux, et à laquelle il attribue en grande partie la construction expéditive du pont de Hallstadt. Les *fig.* 1 à 9 (Pl. VII), et 9, 10, 11 (Pl. VI) représentent deux types de grues, applicables à des ponts de hauteurs différentes ; il *Grues employées en Bavière pour la pose des pierres de taille.* (Pl. VI, *fig.* 9 à 11 et Pl. VII, *fig.* 1 à 9).

paraît utile de les décrire malgré l'analogie qu'elles présentent avec les appareils employés aujourd'hui dans plusieurs gares de chemins de fer, pour le chargement et le déchargement des pierrres de taille. Ce n'est pas du principe qu'il s'agit, mais d'un mode d'application bien étudié et sur une échelle inusitée.

Grande grue à huit roues. (Pl. VII, fig. 1, 2, 3, 4).

Dans la grande grue à huit roues, le treuil est à 16m,80 au-dessus des longrines sur lesquelles elle roule. La voie transversale sur laquelle se meut le chariot du treuil à engrenage est établie sur deux poutres *a*,*a*, armées au moyen d'une sous-poutre boulonnée, d'un poinçon, et de tirants *t*, *t*. Chacune des deux fermes qui supportent les poutres est formée d'une sorte de chevalet entretoisé par des croix de Saint-André et des moises horizontales, et dont le chapeau reçoit les abouts des poutres, tandis que les semelles inférieures s'appuient sur les coussinets des tourillons des roues. L'invariabilité des angles au sommet est assurée, et la rigidité du système complétée, par les grandes contre-fiches *c*,*c*, les tirants *t't'*, l'entrait *u*, et les petites contre-fiches *h*, *k*. Les hommes chargés du service du treuil impriment eux-mêmes au système son mouvement de translation : une dunette *d* leur permet d'agir commodément sur une manivelle *mm* qui commande de chaque côté une des roues portantes au moyen d'engrenages coniques et des longs arbres *b*, *f*, et leur impriment des vitesses égales. La grande dunette D du treuil, et celle de la manivelle sont facilement accessibles au moyen de l'échelle de perroquet *q*.

Cette grue est rigide, légère, d'une construction économique, d'une manœuvre facile, et malgré sa hauteur elle ne tend ni à se déjeter ni à fouetter.

Petite grue à quatre roues, (Pl. VI, fig. 9, 10, 11, et Pl. VII, fig. 5 à 9).

La petite grue, supportée par quatre roues seulement, ne diffère de la précédente que par sa moindre hauteur et sa construction plus simple.

Ces appareils réduisent au minimum la dépense du pont de service. Il est évidemment bien plus économique d'exhausser le chariot que le pont; mais l'application de cette disposition, qui intercepte le passage, est restreinte par les exigences de la navigation.

27. Il n'y a, dans le Wurtemberg, qu'un seul pont en pierre qui mérite d'être cité, c'est celui qu'on vient de terminer à Ulm, sur le Danube, pour le passage du chemin de fer d'Augsbourg. *Wurtemberg.*

28. On a construit sur les chemins hanovriens un certain nombre de ponts en pierre, mais d'une importance médiocre; tels sont ceux: *Hanovre.*

De Kragenhof sur la Fulda (ligne de Göttingue à Cassel): cinq arches de 21 mètres d'ouverture;

De Münden sur la Werra (même ligne) : six arches de 17m,50.

De Northeim sur le Ruhme (ligne de Hanovre à Göttingue), *id.*

De Hildesheim (ligne d'Elze) : cinq arches de 14m,60.

Les principes adoptés en Hanovre pour la construction des ponts en pierre excluaient leur emploi dans toutes les circonstances où il fallait conserver un grand débouché et ménager la hauteur. Aussi l'application de la *tôle* a-t-elle pris dans ce pays un développement remarquable (78), et y présente un intérêt dont les ouvrages en maçonnerie sont presque entièrement dépourvus.

29. Les ponts en pierre sont peu nombreux et peu importants en Autriche, où la traversée des grands cours d'eau, tels que le Danube et ses principaux affluents, n'a reçu encore qu'une solution provisoire (47, 131). Le seul ouvrage de ce genre qui mérite quelque attention est le pont de Steinbrücke sur la Sann, affluent de la Save (ligne de Grätz à Laybach), formé de trois arches de 24m,70 d'ouverture: il est courbe et légèrement biais, construit entièrement en pierre de taille, et traité avec beaucoup de soin. *Autriche.*

Pont biais.

30. Je n'en ai pas rencontré un seul remarquable à ce titre. Aux yeux d'un grand nombre d'ingénieurs alle- *Ponts biais.*

mands, on n'a qu'une stabilité douteuse avec un biais prononcé, aussi l'évite-t-on presque toujours (1).

Chemin du duché de Bade.

Les ponts biais sont assez multipliés cependant sur le chemin badois, mais on s'est contenté d'appliquer un système jugé depuis longtemps, la construction par arceaux droits. L'ouvrage le plus considérable de ce genre est le pont sur le Dreisam, (près de Fribourg-en-Brisgaw) qu'il traverse sous l'angle de 80°; il a 18 mètres d'ouverture et est formé de quatre zones de 1m,88 de long et surbaissées au 1/8. Ce n'est pas sans surprise qu'on voit, même sur les sections les plus récentes du chemin badois, ce mode de construction préféré aux solutions à la fois bien plus élégantes et bien plus pratiques adoptées partout ailleurs depuis longtemps. On avait d'abord, avec plus de raison, appliqué la disposition par arceaux à quelques passages inclinés, ou *descentes*, et on trouva plus simple ensuite de l'étendre aux voûtes horizontales.

Chemin du Palatinat.

31. Les ponts biais, assez nombreux sur la ligne du Palatinat, sont sur une petite échelle, 9 mètres d'ouverture au plus. Mais ils portent du moins comme tous les ouvrages de cette ligne, et en général comme tous ceux auxquels M. Denis a présidé, le cachet d'élégance et de fini dans les détails que cet ingénieur sait allier à l'économie. Il a généralement appliqué à ces petits ponts l'appareil orthogonal convergent : ils sont construits en grès de hauteurs d'assises variables, et l'inégalité d'épaisseur des assises qui caractérise cet appareil permettait d'utiliser les matériaux, dont la taille était d'ailleurs à très-bas prix, plus complétement qu'avec l'appareil hélicoïdal. — En somme, ces ponts biais n'ont pas coûté sensiblement plus cher que s'ils eussent été droits.

(1) On remarque même sur le chemin de Venise à Vicence, près de la station de Ponte-di-Brenta, un pont droit exécuté pour le passage très-biais d'une route sous le chemin de fer; mieux vaudrait encore la disposition par arceaux et crémaillères du chemin badois.

VIADUCS EN MAÇONNERIE.

32. Un des traits caractéristiques des chemins de fer allemands, est la rareté des souterrains considérables, même dans les contrées accidentées. Il y a parti pris évident de les éviter presque à tout prix. D'une part, on admet au besoin pour les tranchées des profondeurs inusitées ailleurs ; de l'autre, on s'attache à se rapprocher autant que possible, par de longues et de fortes rampes s'il le faut, des dépressions des faîtes, de manière à faire rentrer la cote de l'axe dans des limites qu'on puisse atteindre par un déblai, ou du moins à réduire beaucoup la longueur du percement. Cette tendance à s'élever ainsi sur les flancs des faîtes, même lorsqu'ils n'ont qu'une faible largeur, conduit assez souvent à franchir des vallées ou des coupures profondes à des hauteurs beaucoup plus considérables que si on eût admis des passages souterrains, mais cette considération ne réussit pas à vaincre la répulsion dont ces passages sont l'objet.

Viaducs. Leur importance est en rapport avec la rareté des souterrains.

Si cependant cette influence paraît incontestable dans beaucoup de circonstances, il ne faut pas la généraliser outre mesure et supposer qu'elle affecte constamment le tracé en pays de montagne. Il y a évidemment bien des cas où cette disposition à exclure systématiquement les souterrains, n'est pour rien dans la fixation des points culminants du chemin, et par suite dans la hauteurs des ouvrages, viaducs ou remblais.

Les ingénieurs appliquent d'ailleurs ces deux derniers modes avec une égale hardiesse (33, 149), sans avoir en principe de préférence pour l'un ou pour l'autre, et en se laissant guider dans chaque cas par l'ensemble des considérations qui lui sont propres : nature et prix du terrain, des matériaux de construction, des terres dispo-

nibles pour les remblais, etc. Il est évident, du reste, qu'en Allemagne comme partout les remblais deviennent décidément inadmissibles au delà d'un certain point, parce que la progression rapide du cube et de l'emprise avec la hauteur fait, en tout état de cause, pencher bientôt la balance du côté du viaduc, lors même que l'avantage appartient évidemment au remblai pour des hauteurs moindres. Mais, à tort ou à raison, cette limite est placée en Allemagne bien plus haut que chez nous. Que ce soit ou non la conséquence logique des différences de conditions locales, de prix élémentaires, etc., on ne craint pas en Allemagne de donner aux remblais, ainsi qu'on le verra plus bas (144), des proportions devant lesquelles on reculerait à coup sûr en France.

Viaducs gigantesques de la ligne saxo-bavaroise.

33. Les deux viaducs les plus remarquables des chemins allemands et sans doute du monde entier, appartiennent au chemin de Leipzig à la frontière bavaroise. Considérée dans son ensemble, la ligne saxo-bavaroise est également remarquable par la hardiesse de son tracé au point de vue de l'exploitation, et par la variété des travaux gigantesques qui y sont accumulés. Quelques détails sur le tracé de la partie saxonne, sur les circonstances dans lesquelles on a été conduit à exécuter les colossales constructions du Göltzsch et de l'Elster, ne seront donc pas sans intérêt.

La ligne de Leipzig vers Hof (point où elle devait, aux termes du traité conclu entre les deux États, se rattacher au chemin bavarois) ne présentait pas de difficultés jusqu'à Reichenbach (1), mais ensuite elle ren-

(1) Je citerai en passant, comme une des conséquences du morcellement extrême de l'Allemagne, le rebroussement d'Altenbourg. C'est une petite ville, mais une petite ville qui a le titre et les prétentions d'une capitale. Le gouvernement du du-

contre successivement deux profondes vallées : à Netzschkau, celle de Göltzsch (petite rivière qui se jette dans l'Elster à Greïtz), puis, un peu en aval de Plauen, celle de l'Elster elle-même. D'après le tracé adopté, elles devaient être franchies respectivement, la première à une hauteur moyenne de 80 mètres environ, et sur une largeur de plus de 600m; la seconde, à une hauteur de 70 mètres et sur une largeur de près de 400m.

Si l'on songe que l'adoption de ce projet remonte à dix ans, c'est-à-dire à une époque où des travaux de cet ordre étaient sans précédents sur les chemins de fer, où l'aqueduc de Roquefavour lui-même était encore inachevé, on appréciera à sa juste valeur la hardiesse des ingénieurs qui n'ont pas reculé devant une semblable tâche. On doit aussi rendre hommage à l'intelligente fermeté du gouvernement, qui a su trouver dans les

---

ché, qui se serait certainement imposé de grands sacrifices pour attirer le chemin de fer sur son territoire, s'il avait été possible qu'il lui échappât, a profité de sa position pour dicter des conditions, et exiger que le chemin s'infléchît pour toucher la ville, ce qui a exigé une gare en tête.

On trouve un autre exemple plus frappant dans les circonstances qui ont déterminé la création du port de Bremerhafen (embouchure du Weser). Les progrès incessants de l'ensablement de ce fleuve menaçaient gravement la prospérité de la ville de Brême : l'amélioration de la navigation, et l'exécution d'un canal latéral projeté depuis longtemps, lui étaient interdites l'une et l'autre par le Hanovre et par le duché d'Oldenbourg, propriétaires respectifs des deux rives. En créant de toutes pièces un port à Bremerhafen, le gouvernement de Brême a sauvegardé, autant qu'il dépendait de lui, les graves intérêts qui lui sont confiés : mais la métropole ne peut communiquer avec son port que par un service de bateaux plats. L'opposition à vues un peu étroites qui a empêché la construction d'un canal maritime empêche également celle d'un chemin de fer; il est probable cependant qu'elle cédera bientôt à la pression légitime des intérêts généraux de l'Allemagne.

ressources limitées d'un petit État les moyens de subvenir à des travaux hors ligne, et soutenu résolûment le projet et ses auteurs contre des critiques passionnées, inspirées surtout par les intérêts qui se rattachaient au succès des tracés rivaux.

Impossibilité d'éviter ces constructions colossales.

Ce n'est qu'après avoir étudié le terrain à fond, discuté plusieurs variantes, qu'on a accepté avec toutes ses conséquences le tracé reconnu en somme le meilleur ; le champ des études était d'ailleurs singulièrement rétréci par une condition qui dominait la question d'art, celle de ne pas sortir du territoire saxon. Cette condition interdisait toute déviation notable vers l'ouest ; se diriger, à partir de Werdau, vers Greïtz et Elsterberg (Pl. V) était plus simple peut-être, mais c'était s'engager sur le territoire des principautés de Reuss, et sacrifier Reichenbach et Plauen. Ces villes furent protégées moins par leur importance que par le voisinage de la frontière.

Quant aux variantes vers l'est, comme Zwickau, si importante par ses houillères, devait nécessairement être desservie, presque toutes se dirigeaient vers ce point. On économisait ainsi l'embranchement qu'il a fallu construire à grands frais de Werdau à Zwickau ; mais on ne pouvait ensuite atteindre Hof qu'en acceptant ou des travaux aussi coûteux en somme que ceux qu'on cherchait à éviter, ou des inclinaisons très-supérieures à la limite de 0,012, qu'on ne voulait dépasser à aucun prix (1).

Viaduc du Göltzsch.

Viaduc du Göltzsch.

34. Le viaduc du Göltzsch a 578^m,8 de long et 80^m,10 de hauteur, y compris les parapets. Il devait se composer de quatre étages d'arcades, ayant respectivement 24^m,20 : 20^m,40 : 17^m,50 et 16^m,50 de hauteur, et des ouvertures croissant légèrement de bas en haut (de 11^m,87 à 14^m,05), par suite du décroissement d'épaisseur des piliers.

Sur la foi des sondages, qui n'avaient pas été assez multipliés,

(1) Tous les phases du projet sont résumées dans un opuscule intéressant publié en 1850 à Reichenbach sous ce titre : *Umfassende Beschreibung der Sächsischen Baier'schen Staats-Eisenbahn*.

on comptait que la profondeur à laquelle les fondations devraient descendre pour atteindre le terrain solide (grünstein) ne dépasserait nulle part 8 mètres à $8^m,50$; mais pour une des piles cette profondeur atteignait le double, et pour une autre, — la plus rapprochée du fond du thalweg, — le triple de ce chiffre.

Cette révélation tardive, survenant quand l'ensemble des travaux de fondations était déjà fort avancé, arrêta tout. Constaté, comme il aurait dû l'être, avant qu'on eût mis la main à l'œuvre, ce fait eût conduit à remanier complétement le projet, à augmenter les ouvertures; mais, engagés par les travaux déjà exécutés, les ingénieurs n'avaient que deux partis à prendre : persister, exécuter, coûte que coûte, le projet; ou bien le modifier partiellement, seulement dans la région où le sol se dérobait pour ainsi dire. **Modifications du projet adopté.**

C'est à ce dernier parti qu'on s'arrêta. On supprima la pile la plus suspecte : une seule voûte de $28^m,50$ remplaça cette pile et les deux ouvertures de $11^m,87$,—et les deux piles voisines furent renforcées en conséquence.

Quant à la première pile mentionnée, on se résigna à pousser jusqu'à la profondeur de 16 mètres pour asseoir les fondations sur la roche, ce qui eût été excessivement dispendieux pour la seconde.

Des pilotis, et une épaisse plate-forme en béton à large empatement, auraient sans doute créé dans la masse de schiste et d'argile qui recouvrait ici le rocher, un terrain artificiel d'une résistance proportionnée à l'énormité de la charge. Mais on ne voulait à aucun prix placer les piles dans des conditions de fondations différentes. On redoutait des tassements inégaux. — Dans des circonstances ordinaires, l'importance attachée à un mode identique de fondation pour toutes les piles serait à bon droit taxée d'exagération; mais ici, en présence des proportions inusitées de la construction, c'était de la prudence bien entendue. **Importance attachée à l'identité du mode de fondation pour toutes les piles.**

Il est difficile que des modifications profondes, introduites en cours d'exécution, n'altèrent pas gravement le caractère architectural d'un grand ouvrage. C'est ce qui arriva ici. En substituant à l'élévation adoptée, pour la région moyenne du viaduc, deux grandes voûtes superposées, on a rompu l'unité, la continuité des lignes, conditions éminemment favorables à l'aspect de ces gigantesques constructions. A côté des grandes voûtes, les **Influence fâcheuse des modifications introduites, sur le caractère architectural du viaduc.**

petites paraissent mesquines ; le rapport des pleins aux vides, de part et d'autre des ouvertures principales, semble exagéré. La modification apportée au projet primitif a été vivement critiquée; si l'on ne peut méconnaître la gravité des motifs qui l'ont provoquée, on ne saurait contester non plus la justesse de ces critiques.

Tel qu'il est cependant, le viaduc de Göltzsch est un monument d'un effet très-imposant, et non moins remarquable par le soin qui a présidé à tous les détails de l'exécution que par ses proportions hors ligne.

Sa masse est d'ailleurs réduite par un système d'évidements bien entendu. Les voûtes des trois rangs inférieurs, de part et d'autre des grandes voûtes du milieu, ne sont pas continues, mais réduites à deux arceaux séparés par un intervalle égal à leur largeur commune. Les pieds-droits sont également percés de grandes baies suivant l'axe ; le fruit général est donné par des retraites au sommet de chaque étage. Ces retraites et les baies permettent de parcourir tout le viaduc au sommet du deuxième étage, — la continuité étant établie par l'extrados de la grande voûte du milieu, — et de saisir d'un coup d'œil les détails de construction.

Matériaux. Les fondations sont en granite ainsi que les douelles de l'étage supérieur. Les retombées de toutes les voûtes, les soubassements des piles et culées, et les tablettes qui recouvrent les extrados et les retraites, sont en granite ou en grès de l'Elbe; tout le reste est en briques du pays.

Le travail exécuté en régie, sous la direction de MM. Wilke et Dost, a coûté 8.500.000 fr.

Les bois des échafaudages, débités en traverses, ont été utilisés pour la pose des voies.

Viaduc de l'Elster.

Viaduc de l'Elster. 35. Ce travail a été commencé plus tard que le précédent, et les ingénieurs ont mis à profit l'expérience acquise dans la construction de celui-ci, et les critiques qu'il avait soulevées.

Il a 272 mètres de longueur, 69m,50 de hauteur maximum, parapets compris, et est formé seulement de deux étages, hauts de 32m,50 et 33m,50, divisés en arcades de 28m,50 d'ouverture.

Ce viaduc a plus de légèreté, de hardiesse, et en quelque sorte un caractère plus moderne que celui du Göltzsch.

Les fondations n'ont pas présenté de difficultés particulières; les piles sont toutes établies sur le rocher. La dépense s'est élevée à 3.880.000 francs.

36. Je me borne à ce peu de mots sur deux des exemples les plus remarquables de l'impulsion donnée par les chemins de fer à l'art des constructions. L'administration rassemble, sous la direction de M. le conseiller v. Ehrenstein, directeur des chemins de fer au ministère des finances, les éléments d'une description complète des grands travaux exécutés en Saxe depuis quelques années, et dus au concours d'une population industrieuse, d'ingénieurs habiles, et d'un gouvernement vraiment progressif. Cette publication sera à la fois un service rendu à l'art, et un acte de justice pour des travaux dignes de toute l'attention des hommes spéciaux.

37. On rencontre, sur la même ligne, plusieurs autres viaducs en maçonnerie, mais de dimensions ordinaires.

Tels sont ceux : de Leubnitz, de Steinpleiss, de Gospergrün, situés tous trois près de Verdau. Ils ont respectivement 23m,50, 5m,70, 18m,50 de hauteur, et sont formés : le premier de neuf, le second de cinq et le troisième de treize arcades en plein-cintre, ayant 11m,30 d'ouverture. Ils sont construits en briques.

Celui de Röttis, près de l'Elsterthal, formé de cinq arcades de 11m,30 de diamètre et 12m,50 de hauteur.

Celui de Grobau (près de la frontière bavaroise), formé de sept arcades en plein cintre de 8m,50 et haut de 7m,40.

Les ouvrages les plus remarquables des autres chemins saxons sont également des viaducs. *Viaducs des autres chemins saxons.*

Je citerai, *sur la ligne saxo-silésienne, en partant de Dresde :* **Ligne de Dresde à Görlitz et Kohlfurth.**

1° Le viaduc de Demitz, de 221 mètres de long et 18m,14 de hauteur maximum; il est formé de onze arches en plein cintre de 17 mètres d'ouverture;

2° Le viaduc de Bautzen (sur la vallée de la Sprée), de 227 mètres de long et 19 mètres de haut; cinq arcades principales, en plein cintre, de 17 mètres d'ouverture, flanquées de chaque côté de cinq petites arcades de 8m,50;

3° Le viaduc de Bachthal (entre Niethen et Kuppritz), de 93 mètres de long et 20 mètres de haut;

4° Le viaduc de Löbau, de 186 mètres de long et 25m,50 de haut, formé de sept arcades en plein cintre de 17 mètres d'ouverture.

Ligne de Leipzig à Dresde.

Sur la ligne ancienne et bien connue de Dresde à Leipzig, les viaducs de Moorborden (417 mètres de long, 20 mètres de haut, 25 arcades), et de Roderau, près Riesa (654 mètres de long, 63 arcades).

Ligne de Riesa à Chemnitz.

Les viaducs sont très-nombreux sur la ligne de Riesa à Chemnitz. Le plus important, celui de la Mulde à Döbeln, a 283 mètres de long, 56m,60 de hauteur, et est formé de deux étages d'arcades. Comme sur presque tous les autres viaducs de ce chemin, les voies sont en courbe, mais l'ouvrage lui-même est polygonal, ce qui nuit à son aspect. Il est fondé sur des pieux battus dans un banc de gravier recouvrant une roche de grünstein. Les autres sont fondés immédiatement sur le rocher.

Les travaux d'art se succèdent sans interruption sur ce chemin. Il n'y a guère, sur les lignes de premier ordre, de sections avec lesquelles cette ligne, consacrée à des intérêts importants mais purement locaux, ne puisse soutenir la comparaison sous le rapport des difficultés vaincues.

38. Je citerai encore :

***En Prusse* :**

Prusse. Viaduc de Görlitz. Décroissement du diamètre des piles.

Le beau viaduc de Görlitz, sur la Neisse (embranchement de Kohlfurth), construit par M. Weishaupt. Il a 425 mètres de long, 34 mètres de hauteur au-dessus des eaux moyennes, et deux piles en rivière ; le diamètre des arcades, en plein cintre, au nombre de trente, décroît graduellement depuis 20 mètres (diamètre commun des trois arcades jetés sur la rivière qui coule au pied de l'escarpement de la rive gauche) jusqu'à 8m,50, ouverture de la trentième. Ce décroissement, peu usité, est cependant d'un très-bon effet. Les deux piles en rivière sont fondées sur pilotis, les douze suivantes sur la roche (quartz compacte), et les autres sur un banc de sable très-ferme ; tout le viaduc est construit en granite tiré des carrières de Liebenau, près Görlitz. La voie est posée sur longrines, avec traverses de granite.

Le viaduc de Siegersdorf (ligne de Francfort à Breslau), sur la Quies (affluent du Bober, qui se jette lui-même dans l'Oder à Krossen); il a 127 mètres de long et 14m,40 au-dessus des basses eaux. La rivière est franchie au moyen de cinq arches en plein cintre, de 15 mètres d'ouverture. Les piles, fondées sur grillage et pilotis, sont en pierre de taille jusqu'au niveau des plus hautes eaux et en briques au delà.

Viaduc de Siegersdorf.

Le viaduc de la vallée du Bober à Bunzlau. — Longueur, 486m,70; hauteur au-dessus des basses-eaux, 25m,60. Il se compose de trente-cinq arcades en plein cintre, dont cinq, sur les deux bras de la rivière, ont 15 mètres d'ouverture et les autres 10 mètres. Tout cet ouvrage est construit en excellent grès de Doberau : il est fondé sur un banc de gravier d'une grande consistance et avec enceintes parafouilles pour les piles en rivière.

Viaduc de Bunzlau.

Le grand viaduc courbe de Borcette, près Aix-la-Chapelle, sur le chemin rhénan, de 267 mètres de long et 24 mètres de haut, celui de l'Inde (sur le même chemin), celui de Somborn, sur le Wupper (ligne de Dusseldorf à Elberfeld), etc., sont bien connus, comme tous les travaux de ces chemins déjà anciens. Je me borne à les mentionner pour mémoire.

Viaducs du chemin Rhénan.

Dans la Hesse électorale (ligne de Cassel à Eisenach) :

Hesse électorale.

39. 1° Le viaduc de Guntershausen, sur la Fulda, dont l'histoire rappelle, quoique avec des suites moins graves, celle du viaduc de Barentin. Il a 30m,8 de hauteur, 7m,9 de largeur entre les parapets, et est formé de treize arcades en plein cintre, de 16m,30 d'ouverture; les piles, sauf celles de rive et les culées, ont 2m,97 d'épaisseur à la base et ont été fondées sur grillage et pilotis; tous les parements sont en pierre de taille (grès du pays), l'intérieur des voûtes en briques, et le massif des piles en maçonnerie de blocage.

Viaduc de Guntershausen.

Les conséquences de ce mode de construction suivirent de près le décintrement. Des indices d'écrasement et des lézardes se manifestèrent çà et là avec des caractères alarmants, surtout dans une des piles de l'arche du milieu, dont les parements se boursouflaient et surplombaient. On a mis cet accident sur le compte de

Construction vicieuse de cet ouvrage.

la maigreur des piles, mais il est évident qu'avec un remplissage qui se dérobait sous la charge et ne permettait de compter que sur les parements, une surépaisseur même notable n'eût guère amélioré la situation.

Travaux de consolidation.

Armature de la pile.

La conservation même de l'ouvrage fut pendant quelque temps en question. De longues et minutieuses reprises en sous-œuvre réussirent cependant à arrêter les progrès du mal. Des canaux qu'on avait, comme en prévision de ce qui l'attendait, ménagés dans le massif pour faciliter la prise des mortiers, et qui débouchaient sur les parements par des orifices de $0^m,10$ à $0^m,11$ de côté, furent utilisés pour la consolidation de la pile qui menaçait ruine. On inséra dans les deux systèmes rectangulaires de canaux horizontaux des tirants en fer dont les écrous s'appuient sur de larges plaques de fer; on acheva de les remplir en mortier de ciment romain, et on boucha de même les canaux verticaux. Toutes les pierres écrasées furent d'ailleurs extraites et remplacées par des morceaux choisis avec beaucoup de soin; ce fut, en un mot, un véritable travail de mosaïstes.

La durée d'un ouvrage qui a exigé de pareils expédients est assez précaire. L'emploi de la maçonnerie paraît d'ailleurs, indépendamment des malfaçons, donner prise dans ce cas à des critiques fondées. La Fulda est sujette à de violentes débâcles; cette considération, jointe à l'élévation du niveau du chemin de fer, devait tendre à réduire le nombre des piles. Un pont en fer à grande portée eût été mieux approprié à ces conditions. Un autre pont en pierre, de proportions beaucoup moindres (trois arches de 14^m, et quatre de 11^m; hauteur, $11^m,60$), construit sur la même ligne et sur la même rivière, à Beiseförth, avait eu son brise-glace

détruit, puis une pile et une culée fortement endommagées par les glaces. Sur des cours d'eau aussi incommodes, ces ponts à petites ouvertures exigent des estacades d'une grande solidité et d'un entretien dispendieux.

40. 2° Le viaduc de Haueda près Wârbourg (ligne de Cassel à Paderborn) sur une vallée au fond de laquelle coule un ruisseau, le Diémel. — Ce viaduc, placé à la frontière de Westphalie, a été exécuté à frais communs par la Prusse et par la compagnie du chemin de Frédéric-Guillaume; mais la construction a été dirigée par les ingénieurs prussiens. *Viaduc de Haueda.*

Il se compose de six arcades en plein cintre de 16 mètres d'ouverture et de 25 mètres de haut depuis la clef des voûtes jusqu'au fond de la vallée; les piles n'ont que $2^m,20$ d'épaisseur aux naissances; tout l'ouvrage est en pierre de taille (grès du pays), sauf le massif des piles qui est en moellons calcaires, mais disposés cette fois par assises réglées. — Des écrasements se manifestèrent néanmoins au bout de quelques temps, surtout à la base des piles.

Mais ils provenaient moins du mode de construction que d'un défaut de surveillance dans la réception des matériaux; car presque toutes les pierres écrasées appartenaient à des bancs de qualités inférieures, et leur remplacement a suffi pour rassurer sur l'état d'un ouvrage qui paraissait voué à une destruction prochaine.

En Autriche :

41. *Sur le chemin du Nord*, le viaduc de la Moldau à Prague, et celui de Brünn, qui s'étend de la Muhlbach à la Schwazawa : travaux sur lesquels je ne m'arrête pas à cause de l'ancienneté de leur date ;

Sur la section de Vienne à Gloggnitz : le viaduc de Baden, de 435^m de long et $6^m,30$ de haut.

Sur la ligne de Gloggnitz à Murzzuschlag (passage du Semring), de nombreux viaducs traversant des vallées étroites, mais souvent très-profondes. Voici, en partant de Gloggnitz, la récapitulation de ces ouvrages situés sur le versant nord, c'est-à-dire sur une longueur de $27^k,9$. *Viaducs du passage du Semring.*

NOMS DES VIADUCS à partir de Gloggnitz.	Longueur.	Hauteur maxima.	Nombre des étages.	Nombre des arcades de chaque étage.	Ouverture des arcades.	Rayon de la courbe.	Inclinaisons.	OBSERVATIONS.
	m.	m.			m.	m.		
Payerbach.	285	29	1	5 8	19,30 9,80	285	0,010	(a)
Payerbach-graben. . .	38	16	1	3	»	»	0,025	
Kübgraben	48	17	1	3	»	190	0,022	
Hollgraben	86	30	1	5	»	»	»	
Abfaltergraben. . . .	105	30	1	5	»	»	0,022	
Jagergraben.	213	39	2	inf. 5 sup. 9	»	190	»	
Gamperlgraben. . . .	124	37	2	inf. 5 sup. 7	»	190	0,022	
Krauselkrause	105	34	2	inf. 3 sup. 6	»	240	0,017	
Kalte-rinne.	219	46	2	inf. 5 sup. 10	»	190	0,017	
Untere Adlitzgraben.	162	28,50	1	8	»	190	0.022	
Obere —	»	13,30	1	»	»	»	0,017	
	1385							

(a) Sur la rivière Schwarzau (vallée dite de Reichenau) : les huit petites arches forment les abords.

La première des longues rampes de 0,025 suit immédiatement le viaduc de Payerbach. C'est principalement pour éviter de donner à cet ouvrage des dimensions beaucoup plus considérables, qu'on s'est abstenu de répartir les inclinaisons d'une manière plus favorable d'ailleurs; car il eût été facile de s'élever plus haut qu'on ne l'a fait sur la rive gauche, avant de traverser la Schwarzau.

Viaducs en courbe.

En courbe, on a adopté pour ces viaducs les voûtes cylindriques avec têtes planes et piles en trapèze. Mais les cordons et parapets, profilés suivant la courbe, dissimulent la forme polygonale du corps de l'ouvrage.

Viaducs en rampe.

Les viaducs inclinés, même ceux au 1/40, ne sont pas construits en *arcs rampants*. Les voûtes, circulaires et en plein-cintre, sont simplement étagées, le bandeau de chacune d'elles se prolongeant verticalement, vers l'aval, jusqu'au niveau de la retombée de la voûte précédente sur la même pile.

42. La brique domine dans tous ces viaducs ; en général, dans les travaux d'art du Semring, on a tiré peu de parti des matériaux variés qu'on trouvait à pied d'œuvre (calcaire, quarzite, poudingue quarzifère, roches amphiboliques, schistes micacés grenatifères, etc.). La dureté de la plupart de ces matériaux et le prix élevé de la taille ont restreint leur emploi. La rapidité de l'exécution a été aussi pour quelque chose dans la préférence donnée à la brique. Matériaux

Un détail assez remarquable de l'exécution de ces ouvrages est l'extrême légèreté, la simplicité des échafaudages : il n'y a ni assemblages, ni boulons, ni ligatures ; des brins de sapin sont réunis simplement par des *serre-joints* de charpentier (Pl. VI, *fig.* 13), qu'on multiplie çà et là quand le système paraît peu solide. Il ne paraît pas que ces échafaudages, d'un aspect médiocrement rassurant, et fort en usage d'ailleurs chez les maçons tyroliens, causent jamais d'accidents. Simplicité des échafaudages.

Sur la ligne de Murzzuschlag à Trieste :

42. Entre Murzzuschlag et Laybach, le viaduc courbe de Pösnitz (46 arches) et celui de Plankenstein.

Entre Laybach et Trieste (section en cours d'exécution) :

1° Le viaduc de Franzdorf (30 kilomètres de Laybach), de 380 mètres de long, 38 mètres de haut, en courbe. Il est formé de deux rangs d'arcades en plein cintre de $15^m,20$ d'ouverture et construit en pierre de taille.

2° Le viaduc de Herschendorf (voisin du précédent), de 285 mètres de long, $34^m,20$ de haut, en courbe de 500 mètres de rayon. Il est formé d'un seul étage d'arcades au nombre de onze, et construit en pierre de taille et en briques.

En Lombardie :

43. Le grand viaduc des lagunes, à Venise, long de 3.800 mètres, formé d'arches de 10 mètres d'ouverture et $1^m,80$ de flèche avec les voûtes en brique et les piles et piles-culées en pierre

de taille de $2^m,12$ et 10 mètres d'épaisseur, fondées sur grillage et pieux ayant 6 mètres de fiche. — Ce grand ouvrage, souvent décrit, est bien connu ; il a beaucoup souffert pendant le siége de 1848 : les Vénitiens l'avaient détruit sur 300 mètres de longueur.

Bavière. *En Bavière :*

44. Le viaduc de Schwabach, près Nuremberg, de 148 mètres de long et 19 mètres de hauteur maximum ; les trois grandes arches du milieu ont $21^m,60$ d'ouverture ; il a coûté 509.000 fr.

Wurtemberg. *Dans le Wurtemberg :*

45. Le viaduc récemment terminé de Bietigheim sur l'Enz (ligne de jonction des chemins badois et wurtembergeois) ; il a 300 mètres de long, $31^m,60$ au-dessus des basses eaux de l'Enz, et est formé de vingt et une arcades en plein cintre de 12 mètres d'ouverture. — Les piles sont contre-ventées par des arceaux surbaissés extradossés horizontalement. Cet ouvrage, le seul important en ce genre que possède le Wurtemberg, est construit en grès keupérien à grain très-fin et d'excellente qualité ; il repose sur les bancs du muschelkalk, à une profondeur variable de $4^m,80$ à $8^m,40$.

Duché de Bade. *Dans le duché de Bade :*

46. Le viaduc de Böllingen, de 135 mètres de long et $5^m,50$ de hauteur mesurée des rails au sol, formé de vingt arcades de $3^m,60$ et deux passages de 6 mètres. — Cet ouvrage n'a donc, quoiqu'il soit le plus considérable du chemin badois, que des dimensions fort ordinaires, et je ne le cite qu'à cause de la profondeur en quelque sorte disproportionnée qu'ont exigée les fondations. Le terrain solide (schiste argileux) se trouve, dans la région moyenne, à $2^m,40$ seulement de la surface ; mais vers les extrémités, il a fallu descendre à 5 mètres et même à $5^m,40$: dans ces circonstances un remblai eût été bien plus économique ; mais le viaduc passe dans le village pour lequel on voulait avant tout atténuer les inconvénients de cette traversée.

Ce petit viaduc, courbe, entièrement construit en pierre de taille avec piles évidées par des portiques suivant l'axe, et orné de quelques sculptures aux tympans et aux bandeaux, est d'ailleurs d'un espace élégant.

§ II. — PONTS ET VIADUCS EN CHARPENTE.

PONTS.

47. La plupart des ponts construits sur les premiers chemins allemands étaient en charpente, tantôt sur piles en maçonnerie, tantôt sur palées. — L'abondance des bois ; — la rapidité de l'exécution ; — l'économie, considération décisive à une époque où tant d'incertitude planait encore sur les produits des chemins de fer, où il n'y avait de certain que la grandeur des sacrifices nécessaires ; — la largeur des principaux cours d'eau ; — la difficulté et la dépense des fondations ; — souvent aussi la nécessité de ménager le débouché, et l'insuffisance de la hauteur : — tels sont, indépendamment de la défiance inspirée par les voûtes à grandes ouvertures et à petites flèches (13), les motifs qui faisaient généralement pencher la balance en faveur de l'emploi partiel ou exclusif du bois.

Ponts en charpente.

Motifs de la préférence donnée d'abord au bois.

Dans certains cas, l'imitation n'était pas étrangère à cette préférence. A ses débuts dans la construction des chemins de fer, l'Allemagne a fait de nombreux emprunts à la pratique des États-Unis. C'est surtout pour le tracé et le matériel qu'elle lui demandait des exemples ; mais ses ingénieurs avaient pour mission d'étudier en même temps les travaux d'art. Frappés de la hardiesse, de la simplicité et de l'économie avec lesquelles les constructeurs américains savent mettre le bois en œuvre, ils rapportaient généralement des impressions favorables à ce mode de construction, sans remarquer que s'il est presque toujours avantageux, si ce n'est même nécessaire aux États-Unis (1), il est souvent inapplicable en Europe.

Influence de l'exemple des États-Unis.

(1) Il paraît cependant que les ponts en fer commencent à s'y multiplier.

Réaction contre son emploi.

On commence à le reconnaître aujourd'hui ; la réaction s'est produite contre l'introduction du bois dans les travaux d'art des grandes lignes de fer, aussi bien que contre le matériel américain. La durée des ponts en charpente sur les cours d'eau a été souvent bien au-dessous des évaluations les plus modérées en apparence. Et cela est tout simple : ces évaluations étaient fondées sur l'observation des ponts appartenant aux routes ordinaires; mais ceux-ci n'ont à supporter que des surcharges relativement faibles. On peut sans danger laisser les bois y parvenir à un certain degré de dépérissement, tout à fait inadmissible sur les chemins de fer.

Courte durée des ponts en bois. Exemples :

J'ai vu, en 1853, refaire en maçonnerie, près de Dresde, sur le chemin saxo-silésien, un pont en bois datant de 1842. Les autres avaient déjà été reconstruits; ceux de Connewitz, près Leipzig (ligne saxo-bavaroise), sur la Pleisse, viennent également d'être remplacés. La rapidité de cette destruction a été plus frappante encore pour les ponts jetés en Hongrie sur les grands affluents du Danube, et pour lesquels on a employé le sapin du pays, dont la croissance est rapide et la texture très-lâche. Sous l'influence des variations de niveau très-considérables, les palées pourrissent rapidement sur une grande hauteur, et le tablier lui-même, soumis à une atmosphère constamment humide et à des températures souvent très-élevées, ne dure guère plus. Les ponts de la Waag et de la Grane, construits en 1847 par les États de Hongrie, menacent ruine aujourd'hui. Ce n'est qu'à force de consolidations qu'on prolonge leur service, et les trains les franchissent avec une extrême lenteur. Ces ouvrages n'ont jamais eu, il est vrai, qu'une destination provisoire : ils ont été même placés en dehors de l'axe du chemin de fer, pour laisser le champ libre à la construction des

ponts définitifs. Mais leur dépérissement prématuré est à peu près indépendant de leur mode d'exécution, et sa cause réside surtout dans la désorganisation même des matériaux.

Ces exemples, qu'il serait facile de multiplier, réduisent à leur juste valeur les avantages attribués d'abord à l'emploi du bois pour les ponts des chemins de fer, surtout si on tient compte des exigences d'un service qui ne souffre pas d'interruption. — Aussi les ingénieurs allemands sont-ils à peu près unanimes aujourd'hui pour repousser l'application du bois aux ponts proprement dits, à moins qu'ils ne soient peu importants et d'une reconstruction facile. — Pour les grands cours d'eau, il s'agit maintenant de remplacer, sans se jeter dans des dépenses d'établissement excessives, cette solution, commode d'abord, mais très-onéreuse en fin de compte. Je dirai plus bas quelques mots de l'état de cette question intéressante, surtout pour les progrès des chemins de fer autrichiens (131).

Circonstances dans lesquelles l'emploi du bois peut être avantageux.

48. La condamnation prononcée par l'expérience ne s'applique d'ailleurs jusqu'à présent, même pour les grandes ouvertures, qu'aux cas où le tablier doit être placé à une faible hauteur au-dessus de l'eau, et soumis ainsi à l'influence délétère d'une atmosphère constamment humide.

Quand il s'agit de franchir des vallées profondes, — c'est-à-dire pour les *viaducs*, — la question change de face : d'une part, la décomposition des bois n'est plus favorisée par une cause aussi puissante; de l'autre, la facilité avec laquelle les ouvrages en charpente se prêtent aux grandes portées est alors d'autant plus précieuse, que la hauteur des piles rend leur construction fort dispendieuse. — Restreinte à ce cas, l'application du bois conserverait encore une grande importance. Je

reviendrai bientôt (63) sur quelques ouvrages remarquables exécutés dans ces circonstances, et pour lesquels il semble qu'on peut espérer un assez long service.

49. Quant aux *ponts* exécutés à une époque où on conservait encore des illusions sur leur durée, ils présentent aujourd'hui fort peu d'intérêt, d'autant plus que ces ouvrages n'ont, sauf un très-petit nombre d'exceptions, d'autre mérite que l'économie de leur construction, et n'offrent en eux-mêmes rien de remarquable.

Pont sur l'Elbe, à Vittenberg.

50. J'entrerai seulement dans quelques détails sur un travail mixte très-considérable, et dans lequel le bois a été admis contrairement au principe posé d'abord, mais auquel il a fallu déroger, par suite de considérations financières impérieuses : c'est le pont sur l'Elbe, à Vittenberg, terminé à la fin de 1851, et jusqu'à présent le dernier, en descendant son cours, que porte ce fleuve. La construction de ce pont avait été résolue dès 1843. Il n'était pas encore question alors du pont de Dresde : le chemin de ceinture de Berlin n'existait pas; de sorte que le tronçon de Vittenberg à Magdebourg avait à cette époque, au point de vue du trafic international, une importance qui est moindre aujourd'hui, quoique très-réelle encore. Plusieurs années s'écoulèrent toutefois sans autre résultat que des projets.

Projet primitif.

Un de ces projets comportant des arcs en fonte sur le petit bras du fleuve, et des arches en pierre sur le grand, fut adopté en 1847. On mit la main à l'œuvre : les fondations de plusieurs piles étaient commencées, lorsque survint la crise financière de 1848. Un projet plus économique pouvait seul prévenir un ajournement indéfini. Celui qui fut adopté en 1849, et mis à exécution, comprend :

1° Sur le bras principal :

Projet exécuté.

Quatorze travées en charpente (système de Howe) (63), dont trois de $39^m,80$ et onze de $53^m,70$ d'ouverture.

Deux travées mobiles (pont tournant) en fer, de $12^m,56$ d'ouverture chacune, accolées à la rive droite.

2° Sur la rive gauche :

Douze arches d'inondation en pierre, de $18^m,84$ d'ouverture.

3° Sur le petit bras (*Taub-Elbe*) :

Cinq arches en pierre de $18^m,84$ d'ouverture.

Le pont se compose ainsi de trente-trois arches ou travées ; sa longueur totale est : $1251^m,3$, et la largeur totale du débouché : $1055^m,7$.

Les deux ponts sont réunis par un remblai de 1.590 mètres de long.

La hauteur des travées en charpente est : $5^m,97$ (un peu plus du 1/10 de l'ouverture maximum), et la largeur dans œuvre, $4^m,16$. Il y a de chaque côté, un trottoir extérieur, pour les piétons, large de $1^m,41$; les maçonneries sont faites pour deux voies ; une seule est posée.

Les trente-cinq piles et culées ont été fondées sur pilotis et grillage. Le cube des matériaux s'élève :

Pour les maçonneries à 55.979^{m3}, qui ont absorbé 46.885^{m3} de moellons, 1.767^{m3} de granite, 4.216^{m3} de grès et 5.451.000 briques ;

Et pour les quatorze travées en charpente, à 3.162^{m3} de bois équarri.

7.000 quintaux métriques de fer et de fonte ont été employés pour le pont tournant, les travées en charpente, les garde-corps du pont en pierre et les fondations.

La dépensé s'est élevée à 4.391.000 francs, chiffre auquel il faut ajouter : 1.356.000 francs pour travaux préparatoires, rectifications du fleuve, exhaussements des digues, ouvrages imposés par le génie dans l'intérêt de la défense, etc., etc.

Épreuves : 1° Statiques.

3 machines avec leurs tenders, pesant en tout 90.500 kilogr., ont été placées successivement au milieu de cinq des travées de $53^m,71$. La flèche a varié de 17 millimètres, 4 à 19 millim. 6, soit au plus 1/2740 de l'ouverture.

2° Dynamiques.

	mill.		mill.
Avec les mêmes machines lancées à grande vitesse, les flexions ont été respectivement. .	19,1	et	19,1
Pour les deux poutres d'une travée qui avaient fléchi, au repos, de.	17,4	et	17,9

Résultat conforme à la loi bien constatée de la faible influence du mouvement de la charge sur la flexion des systèmes très-

rigides, c'est-à-dire dont la flèche *de rupture* ne serait elle-même qu'une très-petite fraction de la longueur.

Relèvement des travées non chargées. Quand on chargeait une travée, on remarquait dans les deux travées voisines un relèvement qui, mesuré au milieu, ne dépassait pas 2 millimètres.

Pont sur l'Elbe, à Roslau. 51. Le premier pont construit sur l'Elbe pour le passage d'un chemin de fer, celui de Roslau (ligne de Berlin à Cœthen), a entraîné beaucoup moins de dépenses que le précédent. Il est sur arcs en charpente, avec piles en maçonnerie fondées sur pilotis, et livre passage à une voie de fer et à une route ordinaire. Sa largeur est $9^m,42$. Les arches, au nombre de cinq, ont : les deux extrêmes $39^m,25$, et les trois intermédiaires, $38^m,62$ d'ouverture, avec flèche de 1/10. Les arcs sont au nombre de six par travée; chacun d'eux est double et formé de quatorze cours de pièces de sapin ayant $0^m,31$ d'équarrissage, et divisés en deux séries, séparées par un petit intervalle, de sept pièces superposées. L'arc a ainsi $2^m,20$ de haut et $1^{m^2},36$ de section transversale, soit $8^{m^2},16$ pour toute la travée.

Effort imposé au bois dans les arcs de ce pont. Le poids d'une travée au 1/10 peut être regardé comme uniformément répartie sur sa projection horizontale, d'autant plus que cette hypothèse donne sur la poussée une erreur en plus; dès lors on a de suite graphiquement le rapport de la poussée au sommet, ou de la pression aux naissances, au poids de la demi-travée, y compris sa charge (1). P désignant ce poids, Q la poussée, on trouve :

1° En supposant que les points d'application sont : au 1/3 de la hauteur du joint à partir de l'extrados au sommet, et aux 2/3 à la naissance, $Q = 2,16P$. C'est la répartition la plus défavorable qu'on doive admettre. Au delà de ce point, c'est-à-dire pour une concentration plus grande encore des pressions, une certaine partie de l'épaisseur de l'arc ne constitue plus qu'une charge nuisible pour le reste. Un semblable état de choses ne

(1) Il suffit de mener (Pl. VIII, *fig*. 9) : une verticale par le milieu M de la demi-travée ; une horizontale par le point (α) considéré comme celui d'application de la poussée à la clef, et de joindre le point correspondant (6) du joint de naissance, et le point d'intersection (m) de la verticale et de l'horizontale. Les trois côtés du triangle *m6n* représentent respectivement la poussée, la pression sur le joint de naissance, et le poids, qui est connu.

pourrait donc être que la conséquence de graves malfaçons. On doit supposer l'épaisseur de l'arc utilisée de la manière la moins avantageuse, mais utilisée tout entière.

2° En supposant ces points au milieu des joints, $Q = 2,57P$, valeur identique à celle que donne la relation connue $Q = \frac{P}{\Phi}$ (Φ étant le demi-arc, mesuré dans le cercle dont le rayon est 1), à laquelle on arrive en exprimant que le déplacement horizontal du pied de l'arc, changeant de forme par l'application de la charge, est nul : identité toute simple, puisque cette relation s'obtient en considérant le solide comme réduit à son axe.

Ces deux valeurs sont les limites de la poussée, et c'est à elles aussi que correspondent, pour une charge donnée P, les limites de la pression maximum par unité de surface dans la section au sommet de l'arc.

p étant le poids uniformément réparti par unité de surface du tablier et ϖ la pression maximum par unité de section transversale des arcs, on a dans la première hypothèse $p = 0,0102\varpi$, et dans la seconde $p = 0,0171\varpi$. Et pour $\varpi = 400.000$ kilogrammes ($0^k,4$ par millimètre q.), $p = 4.080$ kil., $p = 6.840$ kil.

Or, la première même de ces charges est évidemment bien supérieure à la réalité. On est dans l'usage d'éprouver les ponts de chemins de fer à raison de 3.000 kilogrammes par mètre courant de voie simple : pour les $19^m,62$ de la demi-ouverture, cela donne 58.860 kilogrammes, répartis également, par les poutrelles, entre les trois fermes qui supportent la voie de fer, et équivalant à une surcharge de 636 kilogrammes par mètre quarré du tablier. Le pont est lourd par lui-même il est vrai ; le tablier a été, suivant l'usage assez général il y a quelques années, chargé d'une épaisse couche de ballast ; mais on est certain d'exagérer en évaluant à 2.000 kil. le poids du mètre quarré, c'est-à-dire en faisant $p = 2.636$ kilogrammes, charge à laquelle correspond pour ϖ, dans l'hypothèse de la répartition la plus défavorable, une valeur de 258.431 kilogrammes ou $0^k,26$ par mill. q. C'est seulement 1/15 de la résistance moyenne à la rupture (4 kil.) ; dans l'autre hypothèse extrême, celle de la répartition uniforme, on aurait $\varpi =$ seulement $0^k,154$ par mill. q. ou 1/26 de la résistance à la rupture.

52. Des équarrissages qui réduisent à un taux aussi faible les limites de l'effort éprouvé par les arcs peu-

vent être, au premier abord, taxés d'exagération. Mais il faut faire une large part à la tendance au déversement latéral, contre laquelle, au delà d'une certaine limite, les contrevents seraient impuissants. Il faut remarquer d'ailleurs que, s'il y a effectivement exagération ici, il en est de même, et au delà, pour la plupart des ponts sur arcs en fonte, dans lesquels la pression, calculée seulement dans l'hypothèse d'*une répartition uniforme*, est le plus ordinairement de $2^k,5$ à peu près, soit 1/32 de la charge d'écrasement, évaluée en moyenne à 80 kilogrammes. Il conviendrait même, si un rapport aussi faible est fondé en pratique pour la fonte, d'en adopter un plus faible encore pour le bois, puisqu'il faut tenir compte de son rapide dépérissement.

Cet effort est, relativement, plus grand que dans les arcs en fonte.

Type plus ordinaire sur les chemins allemands.

53. Les ponts construits sur le Danube (à Vienne et à Donauwörth) et sur ses affluents (la Waag et la Grane en Hongrie, la Wertach à Augsbourg, la Wörnitz, au-dessus et au-dessous de Harbourg (Bavière), appartiennent tous au même type. La voie est supportée par deux poutres armées formant garde-corps, consolidées près des appuis, par des contre-fiches. La poutre se compose d'un arc, tantôt simple, tantôt double, encadré par une tangente et une corde auxquelles il est relié par des poteaux. Quand il y a deux voies, elles sont séparées par une double poutre intermédiaire. Les ponts de Vienne et de Donauwörth sont à deux voies : le premier, sur palées simples, a vingt-trois travées de 18 et 19 mètres d'ouverture ; le second, sur piles en maçonnerie, fondées sur grillage et pilotis, a six travées dont les ouvertures varient de $17^m,50$ à $19^m,86$.

On admet encore le bois en Autriche, pour les ponts sur les cours d'eau secondaires.

54. Sans insister davantage sur des exemples dépourvus d'intérêt, je ferai remarquer que si, en Autriche, on renonce au bois pour les ponts considérables, on continue à l'admettre pour les ouvrages d'une importance médiocre, tels que les ponts sur la Murz, par exemple, que le chemin du sud traverse huit fois entre Murzzuschlag et Bruck. On adopte, autant que possible, sur les cours d'eau secondaires, une travée type de

19 mètres d'ouverture, à poutres garde-corps sans arc. Dans ces limites restreintes, les inconvénients du bois sont, en effet, beaucoup moins prononcés; la durée est plus grande, l'entretien plus facile, la reconstruction plus prompte. Au point de vue des exigences du service, la question de durée perd d'ailleurs beaucoup de son importance quand il s'agit d'ouvrages à deux voies, car il est presque toujours facile de concentrer tout le service sur une seule pendant le temps nécessaire pour les réparations ou le renouvellement.

Application du bois en Belgique.

55. Le bois a été récemment appliqué sur une assez grande échelle, en Belgique, à la construction de plusieurs ponts sur les lignes de Charleroi à Namur et à Erquelines. Le pont de Farciennes, de 34 mètres d'ouverture et $3^m,60$ de flèche, est sur arcs en madriers de sapin pliés. Ces arcs, au nombre de quatre, ont $1^m,28$ de haut et $0^m,45$ de large : section totale des quatre arcs, $2^{mq},304$. Le tracé indiqué donne, pour le cas de la répartition la plus défavorable, $Q = 2,16P$, d'où on déduit, le pont ayant $6^m,90$ de largeur, $p = 0^m,045\varpi$: les bois supporteraient donc, à charge égale p, une pression plus de deux fois plus grande qu'au pont de Roslau. Mais on est encore bien loin de la limite; la pression de $0^k,4$ ne serait atteinte que pour $p = 1.800$ kilogrammes, et le pont n'étant pas ballasté est bien plus léger que le précédent. Il a été éprouvé sous une charge uniforme de 881 kilogrammes par mètre quarré, tandis que 3.000 kilogrammes par mètre courant de chacune des voies représenteraient seulement 434 kilogrammes uniformément répartis sur le tablier.

Je passe maintenant à l'application du bois à la construction des viaducs.

VIADUCS.

Viaducs en charpente.

56. Les viaducs de l'Elster et du Göltzsch sont assurément de magnifiques travaux. Ces ouvrages, qui défieront le temps, peuvent être à leur place sur les lignes de premier ordre; mais néanmoins s'ils n'existaient pas,

si la question se présentait aujourd'hui, l'emploi du fer, et même celui du bois, seraient certainement discutés, et l'un ou l'autre aurait beaucoup de chances de l'emporter sur la maçonnerie. D'ailleurs des solutions moins dispendieuses sont seules à la portée des lignes secondaires, dont le trafic, plus faible, laisse d'ailleurs par cela même plus de latitude pour les grosses réparations des ouvrages à une seule voie. Aussi, tandis que la Prusse, dont le territoire ne présente pas de profondes coupures, applique presque exclusivement le fer et la pierre, suivant la nature du fond, les exigences du débouché, etc., l'Autriche, le Wurtemberg, la Bavière persistent dans l'emploi du bois, mais restreint aux circonstances définies plus haut (48, 54). — Les ingénieurs de ces États suivent dès lors, avec beaucoup d'intérêt, les progrès des constructions en charpente aux États-Unis. C'est à ceux-ci qu'est emprunté le type accueilli avec le plus de faveur dans le sud de l'Allemagne (63), et qui s'y répandra certainement dans quelques années, si les garanties de durée qu'il semble présenter se confirment.

Examen sommaire des divers systèmes de viaducs en charpente employés aux États-Unis.

57. Avant d'entrer dans quelques détails à ce sujet, il n'est peut-être pas inutile de retracer en peu de mots l'historique des divers modes de construction des ponts en charpente qui ont successivement prévalu depuis quelques années aux États-Unis. Cela semble d'autant moins superflu, que les derniers renseignements publiés en France sur ce sujet sont loin d'être de fraîche date et de résumer l'état actuel de la question.

Les ponts ou viaducs à grande portée, construits dans l'Amérique du Nord, se rapportent à cinq types principaux : 1° arcs sous le tablier; 2° arcs avec tablier inférieur (système de Burr); 3° treillis (système de Town); 4° système de Long; 5° système de Howe.

Arcs sous le tablier.

58. Cette disposition a été appliquée quelquefois sur une échelle gigantesque. L'exemple le plus célèbre est le pont *de la Cascade* (Cascade-Bridge), pour le chemin de fer de New-York à Érié, construit par M. Brown. Il est formé d'une seule arche de 84 mètres d'ouverture et $13^m,70$ de flèche (à peu près 1/6). Les fermes sont au nombre de quatre, et les deux intermédiaires juxtaposées. Chacune d'elles se compose de deux arcs concentriques, — en madriers superposés et réunis par des étriers et des boulons, — et dont l'épaisseur croît du sommet aux naissances; les deux arcs, espacés dans œuvre de $2^m,60$ au sommet et de $2^m,20$ aux naissances, sont reliés par des croix de Saint-André, et par des moises normales à l'arc, saisissant des poteaux verticaux, qui constituent avec elles et avec des liernes horizontales, des tympans à réseau triangulaire. Arcs sous le tablier.

Les ponts sur arcs ne paraissent pas s'être multipliés, parce qu'ils sont d'une exécution moins économique, plus difficile et plus longue que les diverses variétés de ponts sur poutres.

Arcs avec tablier inférieur.

59. Un des exemples les plus remarquables de ce type, et le plus connu en Europe, est le pont de Trenton sur la Delawarre, formé de cinq travées, dont trois de 61 mètres d'ouverture, avec arcs de tête en madriers pliés auxquels le tablier est suspendu par des tirants en fer. La tendance aux changements de figure de l'arc et du tablier, sous l'action des charges, est combattue au moyen de contre-fiches obliques, buttant d'une part sur l'intrados de l'arc et de l'autre sur un longeron formant sa corde et qui entretoise les poutrelles suspendues aux tirants; mais cette corde ne subit pas la poussée, qui s'exerce toute entière sur les retombées de l'arc et les culées. Ce pont est un exemple remarquable de la longue carrière que peuvent fournir les ouvrages en charpente convenablement exécutés et placés dans des conditions favorables. D'après M. Culmann, ingénieur bavarois, à qui on doit un intéressant travail sur la construction des ponts aux États Unis (1), le pont de Trenton remonte à la fin du siècle dernier. Il servait depuis plus de quarante ans à une circulation fort active, lorsque le chemin de Arcs avec tablier inférieur.

(1) *Allgemeine Bau-Zeitung* de M. Förster, 1851, p. 69.

Philadelphie à New-Jersey fut construit; on l'utilisa pour le passage du chemin de fer, en y posant tout simplement les voies sans aucune consolidation.

Dans d'autres ponts du même constructeur, les arcs sont employés concurremment avec une poutre droite, armée au moyen de poteaux et de contre-fiches saisis par les pièces moisantes de deux ou trois étages d'arcs concentriques. — C'est alors l'entrait inférieur de la poutre qui supporte le tablier : les arcs ayant leurs naissances placées plus bas que celui-ci, exercent directement sur les piles et culées une poussée plus ou moins réduite d'ailleurs par la liaison de l'arc et de la poutre droite. — Burr paraît s'être attaché surtout à éviter de soumettre à des tensions très-considérables les entraits inférieurs des poutres à grande portée. — Le pont sur le Mill-Creek, près de Cincinnati, construit dans ce système, a 60 mètres d'ouverture et deux voies séparées par une poutre intermédiaire plus forte et plus haute que la poutre de tête.

Treillis (*Town*).

Système de Town.

60. Ce système bien connu, et qu'on regarde généralement en France comme le type par excellence des ponts américains, est caractérisé par l'extrême simplicité des éléments mis en œuvre pour la construction des poutres : des madriers, et des chevilles. — Deux ou trois épaisseurs de madriers, superposées à joints croisés, et chevillées, composent l'organe essentiel ; quatre *cours* ainsi formés, saisissant deux à deux les extrémités de deux systèmes de madriers disposés en réseau ou treillis, constituent le *pan ;* deux ou trois pans appliqués l'un contre l'autre forment la poutre; deux poutres supportent le tablier, posé sur les moises supérieures ou sur les moises inférieures. — Pour les grandes ouvertures, on place en haut et en bas du treillis deux groupes de moises au lieu d'un seul. — On peut ainsi, par la répétition des mêmes éléments et des mêmes opérations, sans assemblages, sans fer, sans autres pièces de charpente que les poutrelles, franchir des ouvertures énormes.

Pont de Richmond.

L'exemple le plus célèbre de l'application de ce système est le pont de Richmond, sur le James-Fluss (Virginie), construit par Robinson. Il formait une immense poutre de près de 600 mètres de longueur, divisée en douze travées de 47 mètres, et

portée par des piles de $1^m,80$ d'épaisseur. Mais si ce grand travail est bien connu, son sort l'est moins. A peine était-il achevé qu'on s'aperçut que, construit à deux voies, il était incapable de supporter deux trains à la fois. Il ne suffisait pas d'interdire les croisements ; la répartition trop inégale du poids eût encore excédé les forces de la poutre la plus chargée. Les deux voies furent donc remplacées par une seule, placée au milieu : mais ce remède fut impuissant. Après avoir vainement accumulé de dispendieuses consolidations, armé le treillis par une série de poteaux verticaux, avec une sous-poutre supérieure et des contre-fiches buttant sur les piles, il a fallu se résoudre à la destruction de ce grand travail, destruction qui est probablement consommée aujourd'hui.

Cet insuccès peut fort bien tenir à des causes indépendantes du principe, et tout simplement à l'insuffisance des équarrissages ; mais toujours est-il que ce n'est pas un fait isolé. L'ensemble des observations faites sur les nombreux ponts de dimensions très-variées, construits en Amérique d'après le même système, l'a complétement décrédité ; et, sans s'occuper de l'améliorer, on l'a abandonné pour d'autres regardés comme préférables à tous égards. Ce mode de construction est abandonné.

61. La conception de Town présente une certaine analogie de principe et de destinée avec le système de combles de Philibert Delorme, fondé comme elle sur l'emploi d'éléments très-simples, et applicable aussi à de grandes ouvertures. Mais dans l'un comme dans l'autre l'excessive multiplicité des pièces compense, et bien au delà, l'avantage d'une incontestable simplicité de construction.

Il est assez remarquable que les ponts en treillis, délaissés dans le pays où ils ont pris naissance, où ils ont été appliqués avec tant de faveur, trouvent aujourd'hui dans quelques parties de l'Allemagne de nombreux partisans à une condition, il est vrai, la substi-

tution du fer au bois. Je reviendrai plus bas sur cette application (100).

Système de Long.

Système de Long. 62. Il se compose essentiellement de deux cours de pièces en charpente, réunis par des poteaux et par une croix de Saint-André dans chaque intervalle des poteaux; pour les grandes ouvertures, la poutre est armée par une sous-poutre appliquée contre les moises supérieures et deux contre-fiches.

Après avoir reçu des applications assez nombreuses, ce système est à peu près abandonné aujourd'hui. Ses détails étaient du reste bien étudiés; son auteur a eu le mérite de discerner les conditions inverses de résistance dans lesquelles se trouvent les deux branches des croix de Saint-André, et de disposer leurs assemblages en conséquence.

Système de Howe.

Système de Howe. 63. C'est celui qui prévaut maintenant aux États-Unis et qu'à leur exemple l'Autriche, le Wurtemberg, et surtout la Bavière expérimentent aujourd'hui; il participe de ceux de Town et de Long, mais il est caractérisé par l'emploi partiel du fer. Les poteaux de Long sont remplacés par des tringles de fer, incapables de résister autrement que par extension, circonstance qui change notablement le mode d'action des croix de Saint-André, et simplifie beaucoup leur ajustement. Les deux branches de chaque croix travaillant alors par compression, toutes les pièces de la poutre sont simplement juxtaposées, et les boulons établissent seuls la solidarité de tout système et remplacent complétement les assemblages, les chevilles, etc. Les croix de Saint-André sont formées par trois systèmes de contre-fiches, les deux extrêmes croisant l'intermédiaire, de sorte que l'une des branches de chaque croix est double. Les

abouts de ces contre-fiches s'appuient sur des sommiers triangulaires traversés par les tirants ou boulons, disposés par couples de part et d'autre du rang intermédiaire de contre-fiches.

Les deux poutres sont contre-ventées fort énergiquement; quand il s'agit d'un viaduc proprement dit, c'est toujours sur le sommet que le tablier est posé, parce qu'on réduit d'autant la hauteur des piles et culées et qu'on laisse le champ libre pour faire au besoin des consolidations intérieures. Les poutres sont alors entretoisées en haut, — indépendamment des poutrelles, contrevents naturels, — par des croix de Saint-André et des boulons; en bas par des traverses et des croix de Saint-André. Quand le niveau du chemin exige que le tablier soit porté par les entraits inférieurs, le contreventement au sommet est encore possible, parce que ces ponts ayant toujours de grandes portées, la hauteur des poutres dépasse celle des cheminées de locomotives.

64. Tel est par exemple le mode de construction du pont de 53 mètres d'ouverture jeté sur le Chikapoë (province du Connecticut). Ceux qu'on a construits en Allemagne n'en diffèrent que par un point essentiel. Les croix de Saint-André, au lieu d'être encadrées par deux boulons consécutifs, les réunissent de deux en deux ; leurs branches forment alors par leur croisement un véritable treillis, mais dans lequel toutes les pièces obliques sont comprimées, et très-différent en cela du treillis des ponts de Town.

Pour des poutres à grande portée, dont la hauteur croît par suite proportionnellement, il est nécessaire, en effet, de réduire l'intensité de l'effort de compression pour éviter de donner aux contre-fiches des équarrissages exagérés. Il importe d'ailleurs de ne pas donner

Moyens de réduire les équarrissages des contre-fiches et des tirants.

une trop grande longueur aux tronçons qui constituent la plate-bande supérieure; ils tendraient sans cela à fléchir isolément.

Cette double condition est évidemment remplie en décomposant chaque tronçon en deux, trois..., parties égales, et appliquant aux points de division, de nouveaux sommiers, de nouvelles contre-fiches et de nouveaux tirants, en tout pareils aux autres (Pl., IX *fig.* 8). La charge appliquée à chaque sommet, et par suite l'équarrissage des contre-fiches et celui des boulons sont réduits à moitié, au tiers... On peut en outre profiter des points d'intersection de toutes les pièces, pour les relier par des boulons (65) ; liaison usitée également dans le treillis de Town, mais alors avec beaucoup moins d'avantage, à cause des conditions inverses dans lesquelles travaillent les deux systèmes de barres qui composent ce réseau.

On arriverait aux mêmes résultats en augmentant convenablement l'angle α dans le réseau simple, puisqu'on réduirait ainsi à la fois la longueur des contre-fiches et l'intensité de l'effort qu'elles subissent; mais la disposition précédente est préférable à cause du surcroît de résistance due à la liaison opérée entre les pièces à leurs croisements.

65. C'est ainsi que sont disposés : en Autriche, le pont de Poganeck, sur la Save, près de Littaï (ligne du sud); en Wurtemberg, le pont du Danube, près Ulm (ligne d'Heilbronn à Friedrichshafen); en Bavière, les viaducs récemment terminés de Kempten, sur la vallée de l'Ill, de Waltenhofen, d'Ellhofer-Tobel et de Laiblach.

Pont de Poganeck. (Pl. VII, *fig.* 9 et 10).

Les *fig.* 9 et 10, Pl. VII, représentent l'élévation partielle et la coupe transversale d'une des travées extrêmes, de 47 mètres d'ouverture, du pont de Poganeck; des boulons *b*, *b*, *b*, placés aux croisements (moins ceux du milieu, occupés par les grands tirants), roidissent l'un par l'autre les deux systèmes de contre-

fiches, et donnent au réseau, indépendamment des plates-bandes, une résistance transversale notable. Les tirants *t*, *t*, sont serrés au moyen d'un tendeur à vis ordinaire : leurs têtes s'appuient sur des coussinets en bois appliqués contre le triple cours de pièces qui encadre la poutre. Au sommet, ces coussinets sont, de deux en deux, remplacés par des chapeaux continus qui entretoisent les poutres, et servent d'ailleurs de tirants pour le comble qui recouvre les deux voies.

66. Les quatre viaducs construits en Bavière sont à trois travées; les principaux sont ceux de Kempten sur l'Ill, et d'Ellhofer-Tobel, près Röthembach. Celui-ci est le plus récent, et on y a introduit quelques améliorations de détail. Il est établi à la hauteur de 32^m^,70 au-dessus du fond de la vallée; la travée du milieu a 40^m^,88 d'axe en axe des piles, et les extrêmes 36^m^,79 d'ouverture. *Viaduc d'Ellhofer-Tobel.*

Leur rapport (:: 1,11 : 1) est loin de supposer l'encastrement sur les piles, car dans cette hypothèse l'égalité de résistance des travées correspondrait au rapport :: 1,50 : 1 ou au rapport :: 1,22 : 1 suivant qu'il s'agirait d'un poids appliqué au milieu, ou d'une charge uniformément répartie (1). Quant à l'égalité des flèches au milieu, elle aurait lieu dans les deux cas pour le rapport 1,20 : 1 (2).

Je n'insisterai pas pour le moment sur la discussion du rapport auquel on s'est arrêté pour tenir compte approximativement de l'encastrement partiel; je re-

---

(1) La condition est (I et V ayant leur signification ordinaire) : Pour le poids appliqué au milieu :

$$\frac{8\,IR}{Va} = \frac{16}{3}\frac{IR}{Va'}, \text{ d'où } \frac{a}{a'} = 1,50;$$

Pour le poids réparti : $\frac{12\,IR}{Va^2} = \frac{8\,IR}{Va'^2}$, d'où $\frac{a}{a'} = 1,22$.

(2) La condition est : Pour le poids appliqué au milieu :

$$\frac{1}{192}\frac{Pa^3}{EI} = \frac{1}{48}\frac{1}{\sqrt{5}}\frac{Pa'^3}{EI}, \text{ d'où } \frac{a}{a'} = 1,20.$$

Pour le poids réparti : $\frac{1}{384}\frac{pa^4}{EI} = \frac{1}{185}\frac{pa'^4}{EI}$, d'où $\frac{a}{a'} = 1,20$.

viendrai sur cette question en traitant des ponts métalliques (117).

Hauteur des poutres, $4^m,20$, soit un peu plus du dixième de l'ouverture.

Les pièces du triple entrait inférieur sont assemblées bout à bout au moyen de plates-bandes en fer, appliquées sur leurs faces latérales, et boulonnées; ces plates-bandes portent de plus deux épaulements en fer *e*, *e*, fixés par des rivets et incrustés dans le bois (*fig.* 12). Les pièces sur lesquelles s'exerce immédiatement le serrage des boulons ne sont pas des coussinets en bois comme au pont de Poganeck, mais des barres de fer plates. Les sommiers des contre-fiches sont des prismes triangulaires en bois bouilli dans l'huile.

Forme des grands boulons.

67. Les détails des grands boulons, regardés avec raison comme la cheville ouvrière du système, ont été en Bavière, l'objet d'une étude minutieuse.

Ils n'ont pas de tête, mais un écrou avec contre-écrou à chaque extrémité. Au lieu de fileter simplement aux deux bouts une barre ronde de diamètre constant, ce qui réduirait beaucoup la section à cause de la saillie assez considérable qu'exigent les filets, on a fait venir à chaque bout un renflement cylindrique avec raccordement tronc-conique, d'une grosseur telle que le diamètre, même mesuré au fond du filet, surpasse notablement celui du corps de la tige. Cet excès est destiné à augmenter la surface hélicoïdale, en l'enroulant sur un noyau plus gros que le boulon.

Leurs dimensions.

On a, dans ce viaduc, donné aux boulons des diamètres variables, croissant du milieu aux extrémités des travées. On s'est contenté, du reste, pour ne pas trop multiplier les types, d'adopter seulement trois séries de diamètres, appliqués symétriquement, de part et d'autre du milieu de chaque travée, à 1/6 de sa longueur.

Voici, pour chacune des trois séries, les trois diamètres destinés à réaliser à peu près l'égalité de résistance dans toute l'étendue du boulon :

	DIAMÈTRE du corps de la tige.	DIAMÈTRE du renflement.	DIAMÈTRE du noyau du filet.	SAILLIE du filet.
1re série (région moyenne de la travée)	0,0292	0,0379	0,0438	0m,00295
2e série.	0,0379	0,0467	0,0526	
3e série.	0,0438	0,0526	0,0584	

68. Chaque boulon subit, avant d'être mis en place, un effort de traction déterminé. M. le conseiller Pauli attache une grande importance à cette opération, mais à un tout autre point de vue que celui d'une épreuve. Il regarde comme établi le fait d'un allongement notable, persistant après l'application d'un effort inférieur à ceux auxquels le métal peut être soumis dans les conditions normales de son service; ce point admis, si les boulons sont soumis avant leur mise en place à une charge excédant celle qu'ils auront à supporter ultérieurement, ils ne seront pour rien dans la flèche permanente du pont, et celle-ci sera atténuée d'autant. Tension à laquelle les boulons sont soumis avant leur mise en place.

On proscrit en général les efforts capables d'altérer l'élasticité, parce qu'on regarde leur application prolongée, et plus encore leur répétition fréquente, comme constituant les corps en danger de rupture plus ou moins prochaine. Dans l'opinion adoptée par M. Pauli, et émise déjà par divers expérimentateurs, cette altération serait déjà très-sensible avant d'être compromettante; elle commencerait bien avant que la charge pratique fût atteinte. Si donc elle ne préexistait pas, elle se produirait dans le service; et il serait dès lors parfaitement logique de la développer d'avance pour diminuer son influence sur les déformations permanentes du système. *Discussion de cette opération.*

On conçoit, d'ailleurs, quand il s'agit de barres soumises à un effort de traction, qu'un allongement permanent puisse avoir lieu sans être accompagné d'une *altération de l'élasticité*, dans le sens qu'on attache or- Influence possible d'un défaut de rectitude des barres.

dinairement à ce mot, c'est-à-dire sans qu'il y ait étirage du fer, allongement des fibres. Il y a nécessairement modification dans l'état d'équilibre naturel, puisqu'il y a changement permanent de la forme; mais il est possible que ce changement soit, en tout ou en partie, l'effet d'une rectification des barres, qui présentent presque toujours des ondulations sensibles. Or, cette rectification est évidemment très-distincte de l'étirage du métal.

69. La conséquence du principe, supposé exact et général, serait de soumettre également à un effort préalable les autres éléments du système, c'est-à-dire les bois. On n'y a pas songé, et avec raison : il est clair en effet que, pour des pièces comprimées, telles que des contre-fiches d'une grande longueur, un vice de pose, un défaut de symétrie inévitable dans l'application des efforts, etc., peuvent engendrer des flexions et par suite des déformations permanentes, très-supérieures à celles que produirait une compression uniforme. Mais précisément parce qu'il faut accepter cette influence certainement prédominante, il semble qu'il y a fort peu d'intérêt à en éliminer une autre accessoire, surtout quand il est si facile de régler après coup les tensions des boulons, et jusqu'à un certain point le profil du pont lui-même, au moyen des écrous.

L'allongement permanent était insensible après l'application de la charge pratique.

70. Mais il y a plus; d'après le registre des observations qui m'a été communiqué au chantier d'Ellhofer-Tobel, l'expérience ne confirmerait pas complétement l'opinion de M. Pauli : les allongements permanents ne deviendraient appréciables que sous des charges considérables, qui ne doivent jamais être atteintes dans le service. On a admis, et c'est assurément une évaluation fort large, que les efforts pourraient, en pratique, atteindre $18^k,49$ par millimètre carré. Or, jusque-là, il n'y a pas de traces d'allongements permanents (70).

Il est vrai que le chiffre de $18^k,49$ étant admis, non à titre de limite extrême, mais comme pouvant être assez souvent atteint, on a dû prévoir des surcharges et par suite des allongements éventuels, et fixer, en conséquence, pour la traction préalable, un taux notablement plus élevé. On s'est arrêté à $23^k,6$, chiffre supérieur au précédent de plus de 25 p. 100, et pour lequel l'expérience accuse, en effet, un certain allongement permanent.

Un faible surcroît de diamètre eût été préférable à l'application d'un effort aussi considérable.

Il y a certainement très-peu de fers, surtout en barres de $0^m,03$ de diamètre et au delà, pour lesquels un semblable effort puisse être regardé comme, à coup sûr, inoffensif. De deux choses l'une : ou cet effort, une fois produit avant la pose, ne sera plus atteint ensuite, à beaucoup près, dans le service; et alors, s'il n'est pas dangereux, à condition de ne pas se reproduire, il est du moins inutile. Ou le fer se trouvera effectivement de temps à autre soumis à des efforts peu inférieurs, et alors l'allongement préalable sera utile, mais aussi le métal sera surchargé bien au delà de ce que prescrit la prudence. L'opération serait motivée si les déformations permanentes commençaient, ainsi que cela a lieu, très-nettement pour la fonte, et peut-être aussi pour certains fers, en deçà de la limite des charges pratiques. Mais dans les circonstances indiquées tout à l'heure, on ne peut, sous aucun rapport, voir une garantie dans l'application d'un effort suspect d'énerver le fer; et puisque les allongements permanents notables commencent si tard, il eût été bien plus sûr et presque aussi économique de se mettre en garde contre eux par une légère augmentation du diamètre.

71. Remarquons que l'apparition si tardive des allongements permanents n'exclut pas l'intervention d'un certain défaut de rectitude des barres. Quand des ondulations existent, elles ne s'effacent sans doute que

très-lentement, même sous la charge (1), de sorte que les allongements provenant de la rectification des barres, s'ajoutent, dans une grande étendue de l'échelle, à ceux qui proviennent de leur augmentation de longueur; circonstance qui, soit dit en passant, affecte peut-être souvent les résultats des expériences faites sur des échantillons imparfaitement rectilignes. Il est donc possible que les premiers allongements permanents observés ne soient pas dus uniquement à un étirage du métal, mais aussi à une suppression partielle des ondulations. Mais quand il en serait ainsi, cela ne changerait absolument rien à la conclusion établie tout à l'heure. Ce n'est pas, en effet, l'allongement par lui-même qui est inquiétant, mais l'intensité de l'effort qui l'a produit.

Résultats des expériences.

		Résultats des expériences.	
		sous la charge de $18^{k},49$ par millim. q.	sous la charge de $23^{k},6$.
Allongement proportionel	total, ou sous la charge.	0,0005 à 0,0020	0,0010 à 0,0055
	permanent.	nul.	0,0005 à 0,0025

Les allongements, mêmes élastiques, ont donc varié dans des limites très-larges (de 1 à 4), ce qui semble indiquer l'intervention d'une cause perturbatrice, telle qu'un défaut de rectitude, nécessairement variable, d'une barre à l'autre.

Appareil pour produire les tensions, et mesurer les allongements.

72. La mesure, purement accessoire d'ailleurs, des allongements, sous charge ou permanents, s'opère avec une exactitude bien suffisante. L'appareil qui sert à l'étirage des boulons se compose d'un cylindre en fonte, placé horizontalement et boulonné sur un massif en pierre. Il est creux, percé d'une large

(1) On sait que la courbure que contracte le fil de fer par son enroulement prolongé, est très-persistante. M. Leblanc (Mémoire sur le pont de la Roche-Bernard, page 101) attribue à des inflexions invisibles à l'œil, résistant à de certains efforts et cédant tout à coup sous des efforts plus grands, les ressauts qu'on observe souvent dans les allongements du fil de fer.

rainure à la partie supérieure, et solidaire avec le corps de pompe d'une presse hydraulique ayant le même axe.

L'un des renflements du boulon s'engage dans une ouverture ménagée dans le fond fixe du cylindre; l'autre est saisi par une traverse liée par des tirants au piston de la presse; ce système mobile est supporté par un petit chariot dont les galets roulent sur des règles en fer.

Pour mesurer les allongements, on pose sur le boulon, près de l'extrémité fixe, un petit chevalet en laiton, et près de l'extrémité mobile, un petit chevalet semblable portant un secteur vertical gradué et un petit galet suspendu par son essieu, passant par le centre du secteur, et sur lequel est calée une aiguille. Une règle en fer est posée d'une part sur le chevalet fixe, de l'autre sur le galet. La barre en s'allongeant entraîne le chevalet antérieur, qui la pince. La règle reste immobile, parce que les deux frottements du galet sont bien moindres que celui de la règle sur le chevalet postérieur; l'allongement est donc mesuré par l'arc décrit par le galet, et qu'on lit amplifié sur le secteur.

Ce mode de mesure suppose au fond postérieur du cylindre une immobilité absolue, condition remplie par l'épaisseur énorme des parois en fonte de ce cylindre qui ne peut ni fléchir, ni se comprimer d'une manière sensible, ni se déplacer en masse, puisqu'il est contrebuté par la pression égale exercée sur le fond du corps de pompe. Cet appareil a coûté 12.900 fr.

73. Les voies étant posées sur le haut des poutres, on pénètre dans l'intérieur du pont par des escaliers ménagés dans les culées; les contrevents inférieurs portent un léger plancher à claire voie. Chacune des culées est munie d'un réservoir souterrain voûté, tenu constamment plein d'eau. La voie est couverte de plaques de fonte, et les parois verticales des poutres sont revêtues d'un platelage qui protége la charpente contre la pluie, et contre l'introduction des fragments en combustion. Une surveillance de tous les instants est organisée pour constater et arrêter les moindres indices d'incendie. Précautions contre l'incendie.

74. Le mélèze (Laryx) de Suisse a été employé exclusivement dans les quatre viaducs des chemins bavarois. La réception des bois a été l'objet d'un examen très-sé-

vère : il n'y a ni assemblages, ni parties cachées, ni bois debout juxtaposés ; l'interposition des coussinets rend impossible la pénétration des fibres des contre-fiches : tout le système est protégé contre la pluie : l'air circule partout ; en un mot, les conditions sont les plus favorables à la durée des ouvrages en charpente. Cette durée est encore incertaine ; mais il est probable qu'elle justifiera la confiance des ingénieurs bavarois.

75. J'ai insisté sur ce type, parce que si les constructions en bois sont destinées à se répandre dans une certaine mesure, c'est probablement sous cette forme, si simple, si bien appropriée aux grandes portées, à l'établissement d'un bon système de contrevents, et, au besoin, à l'économie de la hauteur.

Les viaducs en charpente sont toujours sur piles en maçonnerie.

76. L'application de la charpente à la construction des supports des viaducs, n'a pas été introduite en Allemagne, et il n'est pas probable, en effet, qu'elle puisse jamais être avantageuse. En installant au besoin les palées sur des piles en maçonnerie au-dessus des hautes eaux, on les soustrairait, il est vrai, à la cause de destruction la plus active ; mais leur entretien dispendieux compenserait et au delà, en général, l'économie de l'établissement.

Viaduc sur palées de Portage. (États-Unis.)

Les Américains eux-mêmes font le plus souvent les piles en maçonnerie, très-imparfaite il est vrai, mais néanmoins préférable encore à la charpente, et ordinairement fort économique. Il y a cependant quelques exceptions, une entre autres fort remarquable : c'est le viaduc de Portage (chemin de Buffalo à New-York et à City), sur la vallée du Genesee, exécuté en 1851 et 1852 sous la direction de M. Seymour ; il a 250 mètres de long, 71 mètres de hauteur maximum et est supporté par des palées espacées de 15 à 16 mètres d'axe en axe, établies sur des piles élevées à $9^{m},15$ au-dessus des eaux moyennes. On estime qu'un viaduc en maçonnerie aurait coûté sept fois plus cher.

§ III. — PONTS EN TOLE.

77. Tandis que l'expérience faisait ressortir l'insuffisance du bois pour les travaux d'art des chemins de fer, l'attention était éveillée, en Allemagne comme chez nous, par l'immense parti que les ingénieurs anglais tiraient depuis longtemps du fer. Le prix de ce métal s'abaissait graduellement; on se familiarisait avec ses divers modes d'emploi, et surtout avec le plus simple, celui du fer sous forme de tôle rivée. En même temps on constatait que les grandes lignes de chemins de fer sont des instruments de travail assez productifs pour justifier toutes les dépenses propres à leur donner un caractère durable, définitif; aussi, l'application du fer, d'abord restreinte, timide, a-t-elle pris récemment une grande extension en Allemagne. *Ponts en tôle.*

Les divers types de ponts en tôle se rapportent, comme tous les ponts en charpente, à deux grandes divisions : ponts sur poutres, ponts sur arcs. La seconde n'est pas encore représentée sur les chemins de fer allemands. Quant à la première, qui comprend les ponts sur poutres proprement dites et les ponts tubulaires, elle sera représentée bientôt, pour cette seconde catégorie, par un exemple unique, mais gigantesque, le pont de Dirschau, sur la Vistule (chemin de Berlin à Kœnigsberg). *Types divers.*

Des diverses variétés de la première catégorie, l'une, la poutre-caisse (Kasten-Brücke), dont le nouveau pont d'Asnières présente une application sur une assez grande échelle, n'a pas encore été introduite en Allemagne.

La poutre double T, avec nervure médiane pleine ou en treillis, est au contraire appliquée sous des formes et à des échelles très-variées.

Hanovre.

78. Le Hanovre est l'État dans lequel les ponts en tôle se sont le plus multipliés. Les principes admis pour les ponts en maçonnerie (13) ont, indépendamment du prix, beaucoup restreint leur application; et quant aux ouvrages en charpente, moins économiques d'ailleurs dans ce pays que dans l'Allemagne méridionale, ils y seraient difficilement acceptés par eux-mêmes. Les chemins hanovriens présentent peu d'ouvrages remarquables par leurs dimensions; mais on se fait une sorte de point d'honneur de donner à tous ces travaux, fort bien traités du reste, un cachet d'élégante solidité, qui, dans l'opinion des ingénieurs, exclut l'emploi du bois. Le fer est appliqué aujourd'hui à tous les degrés de l'échelle, depuis les simples pontceaux jusqu'à des ouvertures de 36^{m},50.

L'administration des chemins de fer du Hanovre a été conduite à formuler à cet égard des règles pratiques, dont il paraît utile de présenter le résumé.

Règles pratiques. 1° ponts avec poutres inférieures; jusqu'à 8^{m},76.

Pour les très-petites ouvertures (*Durch-Lass*), jusqu'à 1^{m},60, on se contente d'accoupler deux rails américains en réunissant par des rivets les deux bords des patins. Les abouts sont enchassés dans des coussinets spéciaux posés sur des culées en maçonnerie; il n'y a pas de tablier.

Jusqu'à 8^{m},76 d'ouverture, et à moins que la hauteur ne manque, chaque voie est supportée par trois poutres doubles T, réunies par des entretoises de même forme; les rails sont posés sur des traverses en chêne, boulonnées sur les plates-bandes supérieures des poutres.

Jusqu'à 2^{m},92, celles-ci sont formées seulement d'un corps et de quatre fers d'angle. Au delà, elles reçoivent deux feuilles de tôle, supérieure et inférieure. Les entretoises sont formées d'un corps, qui a uniformément 7^{mil},6 d'épaisseur pour elles comme par les poutres, et de quatre fers d'angle qui ont également des dimensions constantes. Les rivets ont 18^{mil},2 de diamètre.

La hauteur de la poutre, celle des entretoises, et l'épaisseur des plates-bandes, dont la largeur est toujours la même, sont donc les seuls éléments variables dans cette catégorie. On a

ainsi l'avantage de réduire le nombre des types à demander aux usines.

Jusqu'à cette limite d'ouverture, les poutres reposent, sur les piles et culées, sur de simples coussinets en bois.

Détails des éléments des poutres et des entretoises, pour des travées de $2^m,34$ à $8^m,76$ d'ouverture.

Ouvertures.	Épaisseur de l'ouvrage jusqu'à la face inférieure des rails.	Hauteur des poutres.	Épaisseur des plates-bandes (largeur $0^m.120$).	Entretoises. Nombre.	Entretoises. Hauteur.	Rivets. Nombre par poutre.	Rivets. Poids par poutre.	Poids d'une poutre.	Poids d'une entretoise.	Poids de tout le système, y compris les accessoires, boulons, etc.	Observations.
m.	m.	m.	m.		m.		k.	k.	k.	k	
2.34	0.56	0.32	» (a)	6	0.30	118	18.52	211.76	34.15	953	(a) et (b) Seulement les fers d'angle.
2.92	0.56	0.32	» (b)	6	0.30	128	20.09	242.70	34.15	1051	
3.50	0.62	0.37	0.005	6	0.35	325	47.59	354.20	39.73	1505	
4.09	0.68	0.44	0.005	6	0.41	367	53.80	417.48	46.71	1756	
4.67	0.74	0.50	0.005	8	0.47	438	65.53	485.19	57.60	2180	
5.25	0.78	0.54	0.005	8	0.52	488	72.43	573.37	59.25	2479	
5.84	0.86	0.63	0.010	8	0.59	528	79.26	680.67	67.62	2888	
6.42	0.90	0.66	0.010	8	0.63	574	88.28	818.26	70.74	3358	
7.00	0.97	0.73	0.015	8	0.69	613	95.64	938.42	77.67	3800	
7.30	1.00	0.76	0.015	8	0.70	637	100.40	1012.25	80.42	4059	
7.59	1.04	0.79	0.015	8	0.75	667	106.40	1096.03	84.44	4368	
8.18	1.10	0.86	0.020	8	0.80	726	117.96	1262.44	90.72	4636	
8.76	1.16	0.91	0.020	8	0.86	771	126.38	1406.30	95.12	5461	

79\. Au delà de $8^m,76$ (et en deçà si le défaut de hauteur l'exige), chaque voie est portée par deux poutres de rive formant garde-corps. Elles ont pour hauteur totale 1/10 de l'ouverture, mesurée sur l'une des travées extrêmes, s'il y en a plusieurs. 2° au delà de $8^m,76$, ponts à deux poutres de tête.

Il y a seulement deux épaisseurs différentes pour le corps :

$9^{mill.},10$ jusqu'à $27^m,74$ d'ouverture,
$12^{mill.},15$ au delà.

Voici la série adoptée maintenant pour les fers d'angle de ces poutres :

Jusqu'à.....	mètres. 7,30	mètres. 16,06	mètres. 21,90	mètres. 27.74	mètres. 35,04	mètres. 43,80
Largeur....	millim. 60,8	millim. 72,9	millim. 79,0	millim. 79,0	millim. 91,1	millim. 115,4
Épaisseur....	millim. 9,0	millim. 10,16	millim. 12,1	millim. 15,2	millim. 15,2	millim. 18,2

Constance de la section transversale des poutres.

80. Pour ces deux catégories de ponts, la section transversale des poutres est constante dans toute leur longueur. Lorsqu'il y a plusieurs travées, on a adopté pour les longueurs des extrêmes et des intermédiaires le rapport 4 : 5 (117), à moins que les conditions locales n'imposent une autre répartition des appuis.

Continuité des poutres sur les piles.

Dans tous les cas, les poutres sont continues dans toute l'étendue du pont (116), et fixées sur la pile ou sur l'une des piles du milieu. Au delà de $8^{m},16$, elles s'appuient, sur les autres, par l'intermédiaire de rouleaux de friction et de plaques en fonte. Lorsque la distance de la section fixe à l'une des extrémités dépasse $14^{m},60$, un appareil de compensation est disposé à chaque bout pour établir la continuité de la surface de roulement.

Exhaussement des pièces de pont.

81. Ce qui caractérise surtout le système de ponts à deux poutres de rive, c'est la disposition des poutrelles ou traverses, qui sont également en tôle, à double T, et combinées avec des goussets ou poteaux, en vue de roidir les poutres, et de les entretoiser très-solidement. A moins que l'ouverture et par suite la hauteur des poutres ne soient très-faibles, les poutrelles ne s'appuient pas immédiatement sur les patins inférieurs des poutres; elles sont placées plus haut et portent de

chaque côté deux appendices, dont l'un s'appuie sur le patin du bas, tandis que l'autre s'élève jusqu'à celui du haut. Les appendices supérieurs et inférieurs fonctionnent ainsi comme des poteaux verticaux, et font partie intégrante de la poutre, qu'ils roidissent. La pression transmise par chaque poutrelle est répartie, pour ainsi dire, entre tous les points de la section verticale de la poutre. Enfin, les poutrelles contreventent les deux poutres dans une région plus rapprochée de celle qui tend à se voiler par suite de la compression, et permettent de combattre cette tendance d'une manière plus simple et plus efficaces que quand elles sont appliquées à la partie inférieure. Tels sont les avantages de cette combinaison.

Les poutrelles ainsi disposées, sont espacées de $2^m,63$ d'axe en axe. Elles sont séparées par une traverse intermédiaire pourvue seulement de l'appendice supérieur, et ainsi suspendue en quelque sorte à la poutre.

Ces appendices ont uniformément $9^{mill.},1$ d'épaisseur.

Les pièces de pont reçoivent des longrines en chêne, de $0^m,292 \times 0^m,184$, boulonnées sur le patin supérieur, et enchâssées de plus entre des fers d'angles rivés de part et d'autre (Pl. VIII, *fig.* 7). Les joints des longrines alternent, avec ceux des rails, sur les traverses principales.

Comparaison des poutres pleines et des poutres en treillis. (Pl. VIII, *fig.* 15 et 16.)

82. C'est à la suite de quelques expériences comparatives faites dans les ateliers du chemin de fer, à Hanovre, entre les poutres à corps plein et celles en treillis, qu'on a été conduit à adopter la première disposition.

On a fait construire, dans chaque système, une travée d'épreuve des dimensions suivantes :

Longueur	$3^m,28$	Plate-bande supérieure	Largeur	$0^m,032$
Distance des appuis	$3^m,05$		Epaisseur	$0^m,0063$
Hauteur	$0^m,327$	Plate-bande inférieure	Largeur	$0^m,029$
			Epaisseur	$0^m,0063$

Le treillis était formé de barres de $0^m,010$ de largeur et $0^m,002$ d'épaisseur, avec mailles de $0^m,027$ de largeur dans œuvre. Il équivalait ainsi à une feuille de tôle continue de $0^m,001$ d'épaisseur, sans rivets ni couvre-joints. C'est d'après cette donnée que le modèle à nervure pleine a été construit. Pour se rapprocher des conditions d'exécution, on a placé un joint vers le milieu.

Les plates-bandes supérieures étaient formées de cinq feuilles de tôle; des couvre-joints ont été ajoutés à celles du bas, pour avoir partout une épaisseur effective constante, mais d'abord dans le modèle à nervure pleine seulement.

	CHARGE uniformément répartie sur le pont.	FLÈCHE au milieu.	OBSERVATIONS.
Pont en treillis.			*Pont en treillis.*
	kil.	millim.	
1re expérience.	3.161	4,75	Après l'enlèvement de la charge, le milieu conserve un abaissement de 0mill.,2 qui peut bien être dû au tassement des appuis.
	3.669	5,64	
	4.193	6,93	
	5.681	8,92	Cette charge reste appliquée 36 heures sans que la flèche augmente. Après le déchargement, il y a une flèche permanente de 1mill.,2.
2e expérience.	3.028	5.74	
	4.616	7,14	
	5.762	8,53	
	6.918	10,11	Au bout de 5 minutes les deux poutres se brisent tout à coup.
Pont à nervure pleine.			*Pont à nervure pleine.*
1re expérience.	3.246	2,77	
	3.761	3,68	
	4.287	3,17	
	5.257	4,57	
	5.257	4,90	Au bout de 4 heures. — 19 heures après, pas d'augmentation. — Au bout de 40 heures on enlève la charge, et il reste une flèche de 0mill.,6 réduite à 0mill.,5, 24 heures après.
2e expérience.	3.588	3,56	
	5.483	4,93	
	6.591	5,94	
	9.790	9,90	
	12.329	Rupture	

Ainsi, la charge de rupture était deux fois plus petite, et la flèche, à charge égale, presque double pour les poutres en treillis.

Quoique l'examen des circonstances de la rupture du premier modèle ne permît pas d'attribuer cette énorme différence à la résistance moindre de la plate-bande inférieure dépourvue de couvre-joints, on recommença l'expérience sur ce modèle réparé et placé dans des conditions parfaitement comparables, c'est-à-dire après avoir remplacé la plate-bande inférieure par trois feuilles continues :

	CHARGE uniformément répartie sur la pente.	FLÈCHE au milieu.	OBSERVATIONS.
	kil.	millim.	
1re expérience.	3.275	4,75	Flèche permanente, 0mill.,381.
	3.783	5,16	
	4.314	6,35	On remarque, aux deux bouts de chaque poutre, un ganchissement du treillis dans la partie inférieure.
	5.278	8,71	Le gauchissement croît rapidement. — Après le déchargement, il disparaît en grande partie. — Flèche permanente, 2mill.,54.
2e expérience.	3.625	7,31	
	5.530	8,71	
	6.703	12,50	
	6.893	15,08	La rupture a lieu tout à coup.

La charge de rupture n'avait donc pas varié; ainsi pour deux poutres de même poids et identiques, sauf la disposition de la nervure médiane, la roideur et la résistance à la rupture variaient à très-peu du simple au double.

83. Avec des résistances aussi inégales, les modes de rupture devaient être essentiellement différents. Et en effet, tandis que les poutres pleines affectaient le mode de rupture théorique (*fig.* 15), — les plates-bandes cédant au milieu : en bas par déchirement, en haut par refoulement, — les choses se passaient tout autrement pour les poutres en treillis. La région du milieu restait parfaitement intacte : vers les appuis au contraire, les plates-bandes inférieures étaient brusquement infléchies et bri-

Mode de rupture de la poutre en treillis.

sées, les barres du treillis les unes ployées et les autres rompues par déchirement, et les rivets qui les fixaient aux cornières, arrachés (*fig.* 16).

Son explication.

Il est facile de se rendre compte de ces faits. Dans chaque moitié du pont, les deux systèmes de barres parallèles qui composent le treillis ont des fonctions inverses (123). Celles qui rencontrent l'axe vertical du pont au-dessus de lui sont comprimées, celles qui le rencontrent au-dessous sont tirées, et les efforts auxquels elles sont respectivement soumises sous l'action d'une charge uniformément répartie, égaux dans la même région du pont, croissent du milieu aux extrémités. Les barres comprimées ou *contre-fiches*, dont l'équarrissage et l'écartement sont constants, sont dès lors trop faibles vers les appuis, et fléchissent. Les barres tendues ou *tirants*, sollicitées transversalement par suite de la flexion des contre-fiches auxquelles elles sont liées, se brisent sous l'action de cette surcharge, ou se séparent des plates-bandes par la rupture des rivets. Une fois le treillis ainsi disloqué et affaissé, il n'y a plus aucune solidarité vers les extrémités de la poutre, entre les deux plates-bandes; celle du haut cesse, dans cette région, de résister concurremment avec celle du bas; incapable de supporter seule la réaction de l'appui, celle-ci plie, et se brise.

Conséquences trop absolues déduites de ces expériences.

84. Sans doute en présence des résultats qui précèdent, les ingénieurs du Hanovre étaient fondés à conclure qu'à poids égal, et dans les conditions de leurs expériences, la nervure pleine est infiniment supérieure à la nervure en treillis. Mais ils se sont trop hâtés de généraliser les conséquences de quelques essais, faits d'ailleurs sur une très-petite échelle, et de condamner d'une manière absolue le principe de la seconde disposition, sans chercher même à l'améliorer par

des moyens très-simples, évidents *à priori*, et que suggérait naturellement l'observation des circonstances de la rupture. Vicieux pour les ponts en bois, le système de Town, convenablement appliqué, peut être au contraire le meilleur pour les poutres en tôle dont la solidité est nécessairement fondée, quel que soit leur système, sur la liaison d'une multitude de pièces au moyen de rivets. Avec une répartition plus judicieuse du métal, le treillis serait sans doute l'équivalent de la nervure pleine. C'est ce qu'il eût été facile de vérifier, en élargissant un peu les mailles du réseau dans la région moyenne, et rapprochant au contraire les contre-fiches vers les appuis (1). On eût très-probablement ainsi, sans augmentation de poids, réussi à transporter la section de rupture de l'extrémité au milieu, ce qui eût nécessairement, du même coup, réalisé à très-peu près l'égalité de résistance. La nervure pleine établissant complétement, dans ces expériences, la solidarité entre les deux plates-bandes, ainsi que le prouve le mode de rupture (83), remplissait par cela même parfaitement les fonctions

(1) C'est ce qui n'a pas toujours été compris. Les *Annales des ponts et chaussées* renferment, par exemple, (numéro de mai-juin 1841) une notice de M. de Saint-Clair, ingénieur des ponts et chaussées, sur une travée en charpente de 17^m d'ouverture, construite sur la route de Mantes à Rouen. L'expérience prouva que cette travée était trop faible : les flèches croissaient constamment et prenaient des proportions inquiétantes. Pour arrêter leurs progrès, on ajouta des croix de Saint-André dans la région moyenne, tandis que c'est surtout vers les appuis qu'il aurait fallu serrer ou consolider les mailles du treillis en augmentant, en même temps, la section des plates-bandes dans la région moyenne, si elle était effectivement trop faible. Au reste, dans ce cas comme dans presque tous ceux de ce genre, on s'était préoccupé seulement de l'équarrissage des moises horizontales, sans s'inquiéter autrement de celui des pièces du treillis, comme s'ils n'avaient pas l'un et l'autre une égale importance (123).

essentielles du corps de la poutre. Sous ce rapport, le treillis ne peut donc pas l'emporter sur la nervure continue : tout ce qu'il peut faire, c'est de l'égaler. Mais il n'en résulte pas que tous les autres éléments étant identiques, la poutre en treillis ne puisse pas avoir, en somme, une résistance plus grande que celle de la poutre pleine. Considéré isolément, séparé des plates-bandes, le corps possède, en effet, une certaine résistance transversale due, dans le treillis, à la liaison des deux systèmes de barres par des rivets; et il est possible que cette résistance *propre* excède, à poids égal, celle de la nervure pleine. Mais la question est surtout de savoir si la solidarité ne peut pas être réalisée par le treillis, avec une répartition convenable du métal, aussi bien que par la nervure pleine d'épaisseur constante, *et avec une notable économie de poids*, au moins pour les grandes ouvertures; s'il en était ainsi, si le treillis assurait la solidarité avec le minimum de matière, on devrait incontestablement lui donner la préférence, et reporter l'excédant de métal sur les plates-bandes, où il serait bien mieux utilisé pour la résistance que dans le corps lui-même. C'est l'opinion qui prévaut en Prusse, dans le Wurtemberg, dans le pays de Bade (100). Les ingénieurs hanovriens la rejettent, mais leurs expériences ne fournissent contre elle aucun argument décisif.

Section plus convenable à donner aux contre-fiches.

85. Des contre-fiches, dont la section est un rectangle fort allongé, sont certainement vicieuses en principe, leur section devrait se rapprocher du quarré; les rivets placés aux croisements les affaibliraient d'autant plus, il est vrai; mais la liaison des deux systèmes de barres, vers le milieu de leur longueur, est d'une utilité au moins douteuse. On a même été conduit en Amérique, dans plusieurs ponts en bois du système de Town, à supprimer, dans cette partie, les chevilles des croise-

ments pour éviter l'effort transversal auquel les *tirants* sont soumis dans leur région moyenne par suite de la flexion des *contre-fiches*. Quant aux rivets placés près des extrémités, c'est-à-dire loin de la section de plus grande courbure, ils n'ont pas la même influence nuisible, et ne s'opposeraient nullement à l'adoption d'une forme moins défavorable. Il faut seulement que les *tirants* aient assez de largeur pour recevoir, sans être trop affaiblis, les rivets d'assemblage avec les cornières. La combinaison de deux systèmes de barres d'équarrissages différents serait, à la vérité, une complication; mais peut-être concilierait-on toutes les conditions en formant le treillis de barres à T résistant bien mieux à la compression que les barres plates à équarrissage égal, et se prêtant bien à la rivure, soit entre elles, en plaçant les deux systèmes dos à dos; soit avec les cornières extrêmes, par l'enlèvement de la saillie du T sur une petite longueur à chaque bout.

Au reste, le principe de la continuité du *corps* admis, rien n'empêche d'y répartir le métal plus judicieusement qu'on ne l'a fait en Hanovre en employant des feuilles d'épaisseurs croissantes du milieu vers les extrémités, ou mieux en rivant sur des feuilles d'épaisseur constante, un système de fers à T verticaux réunis par des fers à T inclinés formant contre-fiches, et dont l'écartement diminuerait graduellement du milieu vers les appuis. Déjà, du reste, on ajoute souvent une surépaisseur à la nervure au droit des appuis et sur une certaine longueur au delà.

Pont sur l'Inn, à Sarstedt (chemin de Hanovre à Göttingen). *Ligne de Hanovre à Cassel.*

86. 1° *Pont sur le petit bras :* *Petit pont de Sarstedt.*

1 travée de 15^m,25 d'ouverture.

La poutre, de 1^m,53 de hauteur, est formée : de deux plates-

bandes composées chacune de cinq feuilles de $0^m,010$ d'épaisseur et $0^m,205$ de largeur, réunies par des fers d'angle à un corps résultant de l'assemblage de deux largeurs de feuilles par un couvre-joint horizontal à quatre rangs de rivets. Les poutrelles, hautes de $0^m,50$, et fixées suivant le principe indiqué, par l'intermédiaire d'un large gousset, affleurent la face supérieure de la plate-bande du bas, à cause de la faible hauteur de la poutre. La distance de la nervure au milieu du rail est : $0^m,50$.

Les plaques d'assise, en fonte, sont percées de trous pour l'écoulement de l'eau.

Les culées sont faites pour deux voies. Elles recevront, quand le trafic l'exigera, un deuxième pont, semblable au premier, et qui en sera tout à fait indépendant.

Épreuves.

ÉPREUVES.	FLÈCHES.		OBSERVATIONS.
	D'une poutre.	De l'autre.	
1° *Au repos.*			
45.794 kil. (3.000 kil. par mètre courant de voie). . .	millim. 4,24	millim. 4,94	1 machine et son tender.
55.644 kil.	5,25	5,04	2 machines sans tender.
2° *En mouvement.*			
Les machines lancées à 15 mètres par seconde. .	6,72	4,94	Aller.
Id.	6.72	5,61	Retour.

La flèche ne devait pas, aux termes du cahier des charges, dépasser 1/1800 de l'ouverture ; elle a été au maximum 1/2260. Il est vrai que la vitesse était : 15 mètres par seconde au lieu de 18 mètres, chiffre stipulé; mais on sait combien est faible l'influence de cet élément.

Grand pont de Sarstedt. (Pl. VIII, *fig.* 1 à 8, et *fig.* 10 et 17.)

2° *Pont sur le bras principal :*

87. Il est formé de trois travées. D'après le rapport indiqué plus haut, on a donné aux extrêmes $22^m,48$ d'ouverture, et à celle du milieu $28^m,42$.

Les deux plates-bandes sont formées de cinq feuilles de $12^{mill.},17$ d'épaisseur et $0^m,262$ de largeur; la nervure, de trois feuilles assemblées par couvre-joints, et ayant $0^m,743$ de large, $2^m,63$ de long et 5 millimètres d'épaisseur.

Hauteur totale de la poutre, $2^m,357$. Les fers d'angle ont $8^{cent.},89$ de côté et $12^{mill.},7$ d'épaisseur maximum.

La plate-bande inférieure équivaut à 4 feuilles continues.

Les joints réduisent de 1/5 la section effective de la plate-bande inférieure. Une des feuilles extrêmes peut en effet être regardée comme formée d'une série de couvre-joints correspondants aux joints des quatre autres étages de feuilles (*fig.* 8), et qui s'étendent assez pour arriver au contact. Leur développement considérable permet d'obtenir, de part et d'autre de chaque joint, une somme de sections transversales de rivets égale au moins à celle d'une feuille, tout en ne plaçant qu'un seul rivet sur une même perpendiculaire à la longueur.

Les sections contenant un joint sont espacées de $0^{m},911$ (feuilles de $4^{m},555$), longueur sur laquelle sont répartis huit ou neuf rivets; il y a donc, de part et d'autre de chaque joint, au moins huit sections de rivets qui résistent, soit en tout 4.720 millimètres quarrés. Or la section d'une feuille est 3.327 millimètres quarrés. — Il y a donc compensation et au delà, même en tenant largement compte : 1° de la légère infériorité de la résistance transverse dans l'état naturel; 2° de la réduction qu'elle paraît éprouver sous l'influence de la tension longitudinale à laquelle le rivet est soumis (1).

Les sections effectives, en haut et en bas, sont donc :: 5 : 4; rapport conforme aux résultats des expériences de M. Hodgkinson; résultats contestés du reste, et qui, en tous cas, ne doivent pas être généralisés. La résistance à l'extension est une propriété simple, absolue; tandis que la résistance à la compression est un fait complexe qui dépend essentiellement des proportions du solide, du mode d'application de la charge, en un mot des circonstances très-variables de l'expérience.

(1) L'égalité n'est d'ailleurs nécessaire que pour les joints extrêmes placés du côté opposé au couvre-joint (α,*a*, *fig.* 8), puisqu'il y a pour tous les autres deux sections de rupture dans chaque rivet.

Travail du fer. Le pont pèse 1.675 kilogrammes par mètre courant. En supposant une surcharge de 3.350 kilogrammes par mètre courant de voie, on trouve, sans tenir compte de la résistance directe du corps de la poutre, que l'effort d'extension maximum de la plate-bande inférieure est seulement $4^k,72$. Le coefficient de sécurité est donc 6, le fer mis en œuvre cédant sous $28^k,34$.

Joints verticaux du corps. Les joints verticaux du corps de la poutre sont disposés très-solidement; ils coïncident tous avec une poutrelle principale qui concourt elle-même, par ses fers d'angle, à la solidarité des feuilles du corps (*fig.* 17). Considérés sous ce rapport, les rivets *ff* sont sollicités longitudinalement, ainsi que cela a lieu dans d'autres circonstances : par exemple, pour les rivets qui fixent aux boîtes à feu et à fumée d'une chaudière de locomotive les cornières d'assemblage du corps cylindrique.

On conçoit qu'un tel joint cesse d'être une ligne de moindre résistance, la liaison intérieure compensant largement la perte de résistance des feuilles due aux rivets, répartis sur deux rangs de chaque côté, qui fixent les couvre-joints extérieurs.

Poids total du pont. . . . . . 126.442 kil. (nombre des rivets, 25.240).

		Longueur.	Largeur.
Dimensions des plaques d'assise :	sur les piles. . .	$1^m,53$	$0^m,659$
	sur les culées. .	$0^m,839$	$0^m.659$

88. On a donné aux poutres un *roide* de 1/1.200, chiffre auquel on évaluait la flèche de pose; mais cette évaluation était trop forte; avec des flèches de fabrication de 23 millim. pour la travée du milieu, et 18 millim. pour les extrêmes, le tassement a été seulement : 18 millim. pour la première et 9 et 13 millim. pour les deux autres.

Épreuves. 89. *Épreuves.* — Machines employées :

1° Machine dite de montagne pesant, avec son tender, 45.794 k.;
2° Machine à marchandises, pesant, avec son tender, 36.272 k.;
3° Autre machine à marchandises, de même poids.

1° ÉPREUVES STATIQUES.

CHARGE AU MILIEU.			FLÈCHES AU MILIEU.						FLÈCHES HORIZONTALES MAXIMUM.						OBSERVATIONS.
			Travée nord.		Travée sud.		Travée du milieu		Travée nord.		Travée sud.		Travée du milieu		
Travée nord.	Travée sud.	Travée du milieu.	Poutre est.	Poutre ouest.	Poutre est.	Poutre ouest.	Poutre est.	Poutre ouest.	Poutre est.	Poutre ouest.	Poutre est.	Poutre ouest.	Poutre est.	Poutre ouest	
kil. 36.272	kil. 36.272	kil. 45.794	mill. 2,7	mill. 2,5	mill. 4,0	mill. 4,0	mill. 5,0	mill. 5,0	mill. 0,9	mill. 0,9	mill. 1,8	mill. 1,7	mill. 2,1	mill. 3,6	
»	45.794	»	0,3	0,3	4,8	5,0	0,9	1,0	»	»	1,7	2,1	»	»	La travée du milieu et celle nord se relèvent.
45.794	»	»	4,9	5,0	»	»	1,0	1,0	1,3	1,0	»	»	0,6	0,6	La travée du milieu se relève.
»	»	45.794	1,6	1,6	1,7	1,5	6,5	7,1	0,3	0,2	0,4	0,2	3,2	4,2	Les deux travées extrêmes se relèvent.
»	67.783	»	0,3	0,3	6,1	5,9	1,3	1,7	»	»	1,9	2,1	0,5	0,7	Les travées du milieu et du nord se relèvent.
67.783	»	»	5,1	5,1	0,2	0,2	1,0	1,2	1,8	1,8	»	»	0,7	0,4	Les travées du milieu et du sud se relèvent.
»	»	(?)	1,8	1,8	2,3	2,1	8,7	9,7	0,5	0,6	0,6	0,8	4,2	5,9	Les travées extrêmes se relèvent.

2° ÉPREUVES DYNAMIQUES.

1 machine pesant 45.794 k., à la vitesse de 3 mètres par seconde.	5,1	4,9	5,0	4,4	7,4	7,6	1,2	0,6	1.9	2,3	3,3	4,6	Moyenne de l'aller et du retour.
La même, à la vitesse de 15 mètres par seconde.	5,6	4,7	5,3	5,5	7,1	8,1	1,5	1,4	2,4	2,8	3,2	5,0	
2 machines pesant 82.000 k. à la vitesse de 15 mètres par seconde.	6,0	6,0	5,9	6,1	9,0	10,0	1,7	1,6	2,3	2,1	2,9	4,6	
3 machines pesant 118.338 kilogr., à la vitesse de 15 mètres par seconde.	6,3	6,2	5,3	5,3	8,4	9,4	1,8	1,6	1,9	2,1	2,9	5,0	

90. Aucune de ces flexions verticales n'excède 1/2745 de l'ouverture, tandis que le maximum fixé par le cahier des charges s'élevait à 1/1800.

Flexions horizontales. Elles n'ont pas de gravité.

Quant aux *oscillations* horizontales, elles devaient être nulles; on voit que les *flexions* horizontales ont été quelquefois assez prononcées; on ne s'en est cependant pas préoccupé, le fait observé étant d'une tout autre nature que celui contre lequel on voulait se mettre en garde. Il ne s'agit pas, en effet, d'oscillations proprement dites, croissant avec la rapidité des masses en mouvement, mais d'une légère déformation, d'un faible gauchissement (1) dû à un certain défaut de symétrie dans l'application des efforts, indépendant de la vitesse, et dans lequel on ne peut, sans doute, voir un symptôme inquiétant, tant qu'il est renfermé dans des limites très-étroites. Mais peut-être a-t-on fait ici trop bon marché de cette espèce de torsion; car elle indique, dans la distribution des efforts, une manière d'être qui s'écarte beaucoup de la répartition normale. Dans une poutre qui *se tourmente* ainsi, le maximum des efforts développés échappe à une détermination exacte.

Mouvement des travées non chargées.

91. L'observation simultanée des trois travées, sous l'action de la charge statique appliquée à une seule, prouve (89, *tableau*), que l'influence des efforts exercés sur une travée extrême se fait sentir non-seulement sur celle du milieu, mais encore à travers celle-ci jusqu'à l'autre travée extrême; la déformation est faible, mais appréciable. Cette transmission des efforts était favorisée, d'ailleurs, par la disposition des appuis de la poutre, fixée sur une culée, contrairement à la règle indiquée plus haut (80), et reposant sur les piles par l'intermédiaire de rouleaux de friction.—Ce fait se rattache à la question, sur laquelle je reviendrai plus bas (116), des avantages respectifs que présentent la continuité et l'indépendance des travées.

---

(1) Les flèches, mesurées au sommet et au bas de chaque poutre, sont, en effet, généralement de sens contraires.

92. La ligne du sud traverse trois fois, entre Elze et Göttingue, la Leine, affluent de l'Aller, qui se jette elle-même dans le Weser. Les trois ponts sont construits dans le même système que le précédent. Le plus important, celui de Poppenbourg, est biais (60°), et formé de cinq travées; les deux extrêmes de $17^m,81$, les trois autres de $22^m,19$. *Ponts de la ligne du sud. — Pont de Poppenbourg.*

Longueur totale de la poutre, $112^m,22$.

Ce pont s'est comporté aux épreuves un peu moins bien que celui de Sarstedt. Les flèches ont été plus grandes, et les déformations horizontales plus prononcées; ce qu'on a attribué à l'influence du biais, les traverses, normales aux poutres, reposant sur celles-ci en des points inégalement distants de leurs extrémités.

Le deuxième pont, celui de Gross-Fredern (près Alfeld), est formé de cinq travées : *Pont de Gross-Fredern.*

Extrêmes	$15^m,77$	Longueur de la poutre, $101^m,60$.
Intermédiaires. . . .	$19^m,71$	

Le troisième, celui de Göttingue, à quatre travées de $13^m,14$ et 16 mètres d'ouverture, et une longueur totale de $64^m,80$. *Pont de Göttingue.*

93. Il y a sur la même ligne, près d'Alfeld, pour le passage de la Gleine, un pont en treillis de $14^m,60$ d'ouverture. — Les poutres, construites avant les expériences mentionnées plus haut, et destinées alors à un pont de 24 mètres, ont $2^m,43$ de hauteur et pèsent 485 kil. par mètre courant. Cependant ce pont a moins de roideur que le petit pont de Sarstedt, dont les poutres ont la même portée, seulement $1^m,54$ de hauteur, et ne pèsent que 393 kil. par mètre courant. *Pont en treillis sur la Gleine. (Pl. IX, fig. 15).*

		GRAND PONT de Sarstedt.	PETIT PONT de Sarstedt.	PONT de Poppenbourg.	PONT EN TREILLIS d'Alfeld.
Nombre et ouverture des travées		2 de $22^m,48$ 1 de $28^m,00$	1 de $14^m,60$	2 de $17^m,80$ 3 de $22^m,20$	1 de $14^m,60$
Poutres.	Long. totale.	$66^m,57$	$16^m,24$	$111^m,20$	$16^m,11$
	Haut. totale.	$2^m,36$	$1^m,54$	$1^m,87$	$2^m,45$
	Section de chaque plate-bande.	$15.930^{mill.2}$	$8.248^{mill.2}$	$12.154^{mill.2}$	haut : tôle, $10.620^{mill.2}$ bas : fer, 10.030
	Poids du mètre courant.	561 kil.	393 kil.	475 kil.	485 kil.
Poids des traverses, goussets, etc., par mètre courant de pont.		562	511	395	632
Poids total de fer par mèt. courant de pont (rails non compris). .		1.675	1.306	1.358	1.612

Pont sur la Léda (affluent de l'Ems), à Heerenborg, près de Leer.

Ligne de Emden à Munster. — *Pont sur la Leda, à Leer.* (Pl. VIII, *fig.* 10, 11 et 13.) Projet primitif.

94. C'est l'ouvrage capital de la ligne de Emden à Munster.

D'après le projet arrêté à la suite de l'examen de plusieurs ponts sur poutres en tôle, particulièrement en Prusse, celui-ci devait être également en treillis, et formé de six travées égales, ayant $30^{m},22$ d'axe en axe des piles, et de deux travées mobiles, de $7^{m},60$; d'après la position du chenal, cette passe devait être placée vers le milieu du pont.

Mais, d'une part, l'étude du terrain, les difficultés des fondations, conduisirent à augmenter l'ouverture des travées; de l'autre, l'expérience paraissait assigner la préférence aux nervures pleines (84) ; enfin on reconnut qu'un pont tournant simple serait beaucoup plus économique qu'un pont à double volée. Le projet primitif fut donc complétement remanié.

Modifications de ce projet.

Les objections contre le pont tournant à double volée étaient sérieuses; le chemin aura plus tard deux voies, mais il n'en a encore qu'une seule. Or, le pont tournant à double volée devait évidemment être construit de suite à deux voies; de plus, la pile devant excéder sa largeur pour le protéger contre l'abordage des bateaux, aurait eu au moins 7 mètres d'épaisseur. Avec une seule volée il devenait possible (*fig.* 11) d'affecter aux deux voies deux ponts distincts, à mouvements de rotation inverses, et se plaçant ainsi sur le prolongement l'un de l'autre quand la passe serait ouverte. Il a suffi pour cela de terminer le tablier, à l'arrière, par une demi-circonférence ayant le pivot du pont pour centre et sa demi-largeur pour rayon (1). L'épaisseur de la pile

(1) Cette faible longueur de la culasse exige seulement qu'elle soit très-fortement chargée.

est ainsi beaucoup réduite, et la construction de la seconde voie tournante peut être ajournée jusqu'à l'époque de la construction du deuxième pont fixe.

On a en conséquence admis la division suivante :

	mèt.		mèt.
1 travée tournante (au milieu)	8,47	Épaisseur des piles. . , ...	2,90
2 travées de 36m,50 d'axe en axe des piles.	73,00	Épaisseur de la pile du pont tournant.	5,50
4 travées de 29m,20.	116,80		
Portées sur les culées.	1,90		
Longueur totale.	199,17		

On avait même songé, pour réduire les dépenses de fondations, à faire de chaque côté de la passe seulement deux travées de 47m,45, mais on a reculé devant la crainte d'exagérer l'importance de l'élément le moins connu jusqu'ici, et de grever peut-être l'avenir au profit du présent.

La Léda a, aux eaux moyennes, 2m,60 de profondeur. Les plus hautes eaux s'élèvent à 2m,92 au-dessus des eaux moyennes; la variation diurne, due aux marées, est de 2m,35. Sur les deux rives s'étendent de vastes marais, protégés par des digues contre les inondations. Fondations.

Les sondages avaient indiqué, sur une profondeur de 13 mètres, de l'argile alternant avec de la vase et du sable; on adopta les fondations sur grillage et pilotis; toutes les piles, soit en lit de rivière, soit en dehors, ont été fondées de même, par épuisement, dans un batardeau à double enceinte; pour les premières on a immergé du béton entre les têtes des pieux.

Pour deux des piles, les pieux de l'enceinte extérieure du batardeau ont été arrachés, à cause des difficultés que présentait leur recépage sous l'eau; difficultés aggravées par les variations qu'éprouve le niveau sous l'influence des marées. Ces pieux avaient 12m,64 de longueur, 0m,194 sur 0m,29 à 0m,44 d'équarrissage, et 7 à 8 mètres de fiche, d'abord dans l'argile, puis dans le sable pur. Leur extraction exigeait, en moyenne, un effort de 39.000 kilogrammes, qu'on exerçait au moyen d'un grand levier, dont l'axe était supporté par les moises de l'enceinte. Un échafaudage volant, appliqué contre la paroi extérieure, portait les ouvriers et une chèvre au moyen de laquelle on achevait l'extraction commencée par le levier, sur lequel on agissait au moyen de moufles. Extraction des pieux d'enceinte de deux piles.

L'opération était fort lente : on n'extrayait que deux pieux par jour.

Le pont fixe est construit exactement comme ceux de la ligne du sud, et d'après les règles indiquées plus haut (81, 83).

Pont tournant.

Pont tournant. 95. Il est formé (*fig.* 11) de trois poutres double T, à profil longitudinal d'égale résistance, et placées sous le tablier. Le système des supports est disposé comme dans les plaques tournantes ordinaires, avec galets coniques indépendants compris entre deux rails circulaires fixés, l'un aux poutres, l'autre à la maçonnerie. Un arc denté, boulonné sur la face extérieure de ce rail, et un pignon à manivelle servent à tourner le pont; lorsqu'il ouvre la voie, la concordance exacte des rails mobiles et des rails fixes est assurée par des verrous *v*, *v*, manœuvrés au moyen du levier *l*. Ce levier sert en même temps à imprimer un petit mouvement vertical à trois vis *t*, *t*, *t*, qui viennent soutenir l'extrémité de la volée, ou s'abaissent, au contraire, pour la laisser libre avant de tourner le pont. Ce petit mécanisme, fort usité en Allemagne pour les ponts tournants, se compose (*fig.* 11 et 15) d'un arbre horizontal *a*, portant au droit de chaque vis verticale une vis sans fin qui engrène avec la collerette dentée d'un écrou tournant *b*.

Matériaux. 96. La contrée, très-pauvre en matériaux, n'a fourni que les briques des piles. 1.700 mètres cubes de grès ont été tirés de la Saxe (bords de l'Elbe); la chaux, très-hydraulique, de la Westphalie; la pouzzolane, de la Hollande; le bois, des forêts de la Pologne et de la Gallicie, dont les essences résineuses possèdent, indépendamment des grandes dimensions qu'elles acquièrent, des propriétés très-convenables pour les fondations hydrauliques.

Autres ponts à construire sur la même ligne. 97. Deux autres ponts du même système doivent être construits sur cette ligne, l'un à Meppen, sur la Haase, affluent de l'Ems; l'autre sur l'Ems elle-même, au-dessous de Lingen.

Conditions de la réception des fers pour les ponts du Hanovre. 98. Les fers doivent porter la marque *best-best-best*, et être tirés des usines les plus renommées du Staffordshire.

Tôles. Les tôles doivent se replier, à froid, sans criques ni gerçures, de telle sorte que l'écartement maximum *mn* (*fig.* 14) n'excède pas $4^{\text{cent.}},45$ pour celles de 19 mill. d'épaisseur; $3^{\text{cent.}},18$ pour celles de $16^{\text{mill.}}$; $2^{\text{cent.}},22$ sur celles de $12^{\text{mill.}},7$; $1^{\text{cent.}},59$ pour celles de $9^{\text{mill.}},5$.

Les fers d'angle subissent la même épreuve après avoir été coupés dans l'angle.

Pour le fer à rivets (qui doit porter la marque *best-scrap-rivet*), les barres, de 18 millim. de diamètre, doivent se replier à froid sur elles-mêmes, sans gerçures, à une distance de $6^{\text{mill.}},35$ au plus. Fer à rivets.

On a fixé, pour les nouveaux ponts, $3^{k},8$ par millim. comme limite de l'effort subi par le fer sous une charge de 5.034 kil. par mètre courant de voie, y compris le poids du pont lui-même. Les épreuves des ponts déjà construits prouvent qu'on peut substituer au chiffre de $\frac{1}{1.800}$ celui de $\frac{1}{2.500}$, comme maximum de la flèche sous une charge composée de trois des plus lourdes machines, lancées à la vitesse de 18 mètres par seconde. Limites du travail du fer et des flèches sous la charge d'épreuve.

99. Le type des ponts de Hanovre vient d'être adopté pour la première application de la tôle en France à un ouvrage considérable, le pont de Langon (chemin de Bordeaux à Cette). Il y a cependant une différence essentielle : un pont unique, à deux poutres de rive, supportera les deux voies ; il aura trois travées ayant respectivement $74^{m},40$ et $64^{m},08$ d'ouverture entre les parements. Pont de Langon sur la Garonne. (Pl. IX, fig. 5.)

Longueur de la poutre.	$211^{m},44$.
Hauteur *id.*	$5^{m},60$.

La poutre ne présente pas d'autres particularités que l'addition d'une cornière vers chacun des bords des plates-bandes, disposition très-convenable pour leur donner de la roideur.

Les poutrelles ou pièces de pont, espacées de $2^{m},58$, sont exhaussées de telle sorte que le milieu de leur hauteur est à $0^{m},22$ au-dessus du milieu des poutres. Leur liaison est opérée : 1° immédiatement, par une rivure sur le fer à T vertical τ ; 2° par deux goussets supérieurs et inférieurs, γ, γ ; 3° par une armature formée de deux arbalétriers α, α, et d'un tirant t qui détruit leur poussée.

Sur les faces latérales des pièces de pont, sont rivés des longerons θ, θ qui reçoivent les longuerines.

Ce pont, calculé à raison de 6 kil. d'effort maximum par mill. quarré, pour une surcharge très-considérable (4.000 kil. par mètre courant de voie), serait cependant très-léger ; il ne

pèserait que 800.000 kil., soit 3.800 kil. par mètre courant, y compris les contrevents obliques en fer plat appliqués contre la face supérieure des poutrelles. Ce ne serait guère plus que pour les deux ponts accolés de Sarstedt (3.350 kil.), quoique l'ouverture soit deux fois et demie plus grande.

Supports à glissières.

Les poutres doivent être fixées sur l'une des piles, et s'appuyer sur l'autre et sur les culées par l'intermédiaire de plaques d'assise, avec glissières baignées dans l'huile. Ces supports disposés ainsi, de manière à répartir les pressions sur les maçonneries, et à les soustraire aux poussées horizontales, exigeront environ 30.000 kilogrammes de fonte.

Préférence donnée aux poutres en treillis en Prusse, dans le Wurtemberg et dans le pays de Bade.

100. Les ponts en treillis, d'abord adoptés, puis abandonnés en Hanovre, sont au contraire hautement préférés à ceux à nervure pleine en Prusse, en Wurtemberg, et dans le pays de Bade. En Prusse, par exemple, on regarde comme consacrés par l'expérience pour une ouverture de $31^{m},40$, les éléments suivants du treillis :

	mill.
Largeur des barres.	78,3
Épaisseur *id*.	13,0
Écartement dans œuvre.	314,0

Ce qui équivaut, ainsi qu'on le vérifie facilement, à une nervure pleine de $5^{mill.},15$ d'épaisseur dans les couvre-joints. Or, l'épaisseur prescrite en Hanovre est $12^{mill.},15$ (81) ; si donc la solidarité entre les deux plates-bandes était réalisée au même degré, si la résistance était la même dans les deux cas, ce serait gratuitement qu'en Hanovre on augmenterait dans le rapport de 2,35 : 1 la masse de fer affectée au corps; et on serait très-fondé à adopter le système le plus léger.

Comparaison des deux systèmes.

Les partisans du treillis insistent sur ce point, qu'ils se conforment au principe le plus général, le moins contesté de la charpente, en plaçant toutes les pièces dans les conditions normales: celles de la résistance à un effort longitudinal. Ils se fondent aussi, comme les ingénieurs hanovriens, sur des résultats d'expériences

comparatives. Ce n'est pas la première fois que deux thèses diamétralement opposées se prévalent l'une et l'autre de ce même titre, et avec des droits égaux. Les expériences dont il s'agit ont été de part et d'autre, trop peu multipliées. On a prouvé, en Hanovre, que la nervure pleine peut l'emporter de beaucoup, à poids égal : on a prouvé, en Prusse, que le treillis peut, à son tour, avoir l'avantage ; mais on n'a, ni d'un côté ni de l'autre, jugé le principe. L'argument *à priori* fondé sur l'assimilation de la nervure pleine au treillis, dont elle ne serait que la limite, pèche d'ailleurs par la base. Si l'on suppose que les barres du treillis s'étendent, dans chaque système, jusqu'au contact, en diminuant proportionnellement d'épaisseur, la résistance sera certainement réduite de beaucoup, parce que les contre-fiches auront, à section égale, la forme la plus défavorable. Mais on n'est nullement autorisé à conclure de ce *treillis plein* à la *nervure continue* de même épaisseur, dans laquelle les efforts peuvent et doivent, par suite de cette continuité même, se distribuer d'une manière toute différente.

La nervure pleine n'est pas la limite du treillis.

Il paraît certain, en définitive, que les deux systèmes sont à peu près équivalents, ou plutôt que tout dépend du mode d'exécution, chacun d'eux perdant ou reprenant l'avantage suivant que les particularités de la construction lui sont ou contraires, ou favorables. Le treillis a contre lui, il est vrai, la plupart des ingénieurs renommés de la Grande-Bretagne; mais c'est plutôt chez eux un parti pris que le résultat d'une discussion approfondie de la question. Aussi les ingénieurs prussiens, qui attribuent au treillis le double avantage de l'économie et d'un aspect moins dépourvu d'élégance, mettent-ils la condamnation prononcée contre lui en Angleterre sur le compte des préventions très-peu sympathiques qui accueillent dans ce pays les idées d'origine américaine.

On trouve cependant au delà du détroit quelques exemples de ce mode de construction, et entre autres le pont sur le canal Royal, à Dublin. Ce pont est formé de trois poutres en treillis de 42m,70 de portée, et ayant pour hauteur un huitième de l'ouverture.

Bade. — *Pont en treillis d'Offenbourg.* (Pl. IX, fig. 1 à 4.)

101. Le pont en treillis le plus important de l'Allemagne est jusqu'à présent celui qui vient d'être construit à Offenbourg (Bade), sur la Kinzig, en remplacement du pont formé de cinq arches en fonte, emporté par une débâcle en août 1851.

L'intervalle entre les culées, restées intactes, est: 63 mètres. On a tenu à le franchir au moyen d'une seule travée.

Le tablier a été nécessairement placé près de l'entrait inférieur, comme aux ponts de Poganeck et d'Ulm, mais la hauteur des poutres (6m,3) a permis aussi de les entretoiser en haut.

Ce n'est pas seulement pour la construction des poutres elles-mêmes, mais aussi pour le plan général de l'ouvrage, qu'on a adopté des principes différents de ceux qui prévalent en Hanovre. Ainsi, au lieu de faire, pour les deux voies, deux ponts indépendants, on les a établies sur le même tablier, de part et d'autre d'une poutre intermédiaire, ainsi que cela se pratique le plus ordinairement dans les ouvrages en bois.

Poutres de rive.

Les plates-bandes sont formées de trois feuilles de 0m,33 de largeur et 13 millim. d'épaisseur, comprises entre deux paires de fers d'angle : l'une, intérieure, saisissant les bouts des barres du treillis; l'autre, extérieure, saisissant une nervure ou côte verticale de 0m,16 de hauteur et 15 millim. d'épaisseur.

Les fers d'angle ont 0m,14 de côté et 20 millim. d'épaisseur; le treillis est formé de barres de 0m,125 de large, 21 millimètres d'épaisseur, espacées de 0m,45 d'axe en axe. Il équivaut ainsi à une nervure pleine épaisse de $21^{\text{mill.}} \times \frac{0,2025}{0,1125} = 11^{\text{mill.}},7$, tandis qu'en Hanovre, pour une ouverture même très-inférieure

à la moitié de celle dont il s'agit ici, on adopte une épaisseur de $12^{mill.},15$.

Les barres sont laminées, mais en fer préalablement martelé en paquets.

Le treillis de la poutre intermédiaire est formé de trois systèmes de barres ; les deux extrêmes (*a*, *a*, *fig.* 1) sont formés d'éléments inclinés dans le même sens, ayant toujours $0^m,125$ de large, mais seulement $16^{mill.},50$ d'épaisseur. Les barres du système intermédiaire (*b*), qui croisent les deux autres à angle droit, ont $0^m,125$ de large et 33 millimètres d'épaisseur. Poutre intermédiaire.

La section des *contre-fiches* et des *tirants* excède donc seulement d'un peu plus de moitié celle des pièces correspondantes des poutres de rive, quoique la poutre intermédiaire ait à supporter, quand deux trains se croisent, une charge double de celle des deux autres. Il paraît qu'on n'a pas voulu établir une trop grande disproportion entre les résistances élastiques des poutres intermédiaire et extrêmes pour éviter une disproportion correspondante entre les flèches dans le cas, le plus fréquent de beaucoup, où une seule voie est occupée par un train, et où par suite les charges des deux poutres sont égales (116).

Mais cette considération ne justifie nullement l'identité des dimensions des plates-bandes. Il est évident que celles de la poutre du milieu devraient avoir le même surplus d'équarrissage que les pièces du treillis ; ou bien l'équarrissage des plates-bandes restant constant, la hauteur de la poutre devrait être plus grande. Ce n'est pas, du reste, la seule critique qu'on puisse adresser à la conception d'un ouvrage qui se recommande d'ailleurs par plusieurs dispositions heureuses et une exécution très-soignée. L'égalité de section des plates-bandes n'est nullement motivée.

En somme, le poids de la poutre du milieu excède seulement de 25 p. 100 celui des poutres de rive. La première pèse 200.000 kil., et les autres chacune 160.000 kil.

102. On a rivé sur le treillis en *m*, *m* et en *m'*, *m'* un double cours de rails en Ω. Il serait difficile d'attribuer à ces pièces un rôle et une utilité bien déterminés.

On a donné aux poutres une flèche de fabrication de 45 millimètres, soit 1/1.550 de l'ouverture.

Rivure à froid. La rivure du treillis a été faite à froid : les rivets, de $0^m,03$ de diamètre, sont en fer au bois, d'excellente qualité, provenant des usines de l'État, et tournés avec beaucoup de soin. Les feuilles des plates-bandes ont été, au contraire, rivées à chaud, parce que l'influence de la contraction des rivets a semblé l'emporter pour ces assemblages sur les avantages attribués au travail à froid, et qui se réduisent du reste aux garanties plus complètes qu'il présente contre les malfaçons. La position des rivets, exactement normale aux barres, a paru la condition essentielle pour le treillis; et la rivure à froid a été préférée comme plus propre à la réaliser, parce qu'elle exige une correspondance rigoureuse des trous. Quant aux fers d'angle, ils ne sont pas rivés, mais soudés.

Pièces de pont. Les traverses ou poutrelles *p*, *p*, espacées de $1^m,89$ d'axe en axe, sont formées de rails de rebut, s'appuyant sur la plate-bande de chaque poutre par l'intermédiaire de deux contre-fiches *c*, *c* formées par les prolongements infléchis d'une sous-poutrelle. Celle-ci est formée aussi d'un rail rivé base à base contre la poutrelle; l'une et l'autre sont saisies par deux sabots en fonte, munis d'oreilles sur lesquelles sont boulonnées les longrines de la voie (*fig.* 1 et 4).

Les poutrelles ont, au delà des poutres, une saillie de $1^m,50$, qui supporte, suivant l'usage, un trottoir (π) pour les piétons.

Les poutres sont contre-ventées : au niveau des poutrelles par un réseau, à très-grandes de mailles, de barres plates ; et au sommet, par des croix de Saint-André avec traverses.

Les longrines, en chêne bouilli dans l'huile, ont $0^m,14$ sur $0^m,36$. — Un plancher en chêne à claire-voie, épais de $0^m,09$, est posé sur les poutrelles.

Portiques aux abords. Les poutres ont leurs extrémités encadrées par des portiques en pierre de taille (*fig.* 2 et 3), de style gothique, et élevés de $8^m,25$. Ces portiques ne manquent pas d'élégance, mais ils s'harmonisent assez mal avec l'ouvrage en treillis, dont la légèreté n'avait pas besoin du contraste d'une construction massive.

Prix. Les portées sur les culées ont 4 mètres de longueur; les extrémités des poutres sont emboîtées de chaque côté par un sabot en fonte, sans rouleaux de friction (120).

La dépense s'est élevée à 260.000 fr., non compris les culées et la valeur des rails utilisés pour le tablier.

103. 1° Sous une charge de 125.000 kilogrammes, uniformément répartis sur les deux voies : **Épreuves : 1° statiques.**

Les poutres extrêmes ont fléchi de 12 millimètres ;

Celle du milieu, de 18 millimètres.

2° On a posé sur les rails, vers le milieu d'une des voies, des coins en fer de $0^{m},03$ d'épaisseur. Chaque essieu d'une machine et de son tender, circulant très-lentement, tombait successivement de cette hauteur. **2° dynamiques. Choc.**

Les flèches ont été :

Pour les poutres de rive, de $7^{mill.},8$ à $8^{mill.},1$;

Pour celle du milieu, $6^{mill.},9$.

Elles ne diffèrent pas sensiblement de celles ($7^{mill.},5$ à $8^{mill.},1$ et $5^{mill.},4$ à 6 mill.) que produisait la même machine lancée sur la voie, sans aucun obstacle, à la vitesse de 48 kilom. à l'heure.

La faible influence d'un choc exercé dans ces conditions était du reste facile à prévoir. Le centre de gravité de la chaudière ne s'élevait pas sensiblement lorsqu'une des paires de roues gravissait l'obstacle. Les ressorts qui la pressaient se rectifiaient, et la chaudière restait immobile, quand les coins étaient atteints par les roues du milieu : elles s'élevait à un bout, en s'abaissant à l'autre, quand ils étaient atteints par l'une des roues extrêmes. La masse choquante n'était donc en réalité que celle d'une paire de roues : seulement l'excès de pression des ressorts qui se débandaient lui communiquait un surcroît de vitesse équivalent à un certain surcroît de hauteur de chute, et dépendant essentiellement du degré de rigidité des ressorts. Il est facile de s'assurer que le travail mesurant un semblable choc était très-faible, et incapable d'exercer un effet sensible sur un système possédant une masse et une rigidité aussi grandes que celles du pont. **Cette seconde épreuve est insignifiante.**

3° Deux trains formés chacun de trois locomotives avec leurs tenders, pesant en tout 181.500 kilogrammes, étaient lancés en sens contraire sur les deux voies à la vitesse de 48 kilomètres à l'heure, de telle sorte que leurs milieux se rencontrassent au milieu du pont. **Trains à grandes vitesses.**

Les flèches ont été :

Pour les poutres de rive : $18^{mill.},9$ et $19^{mill.},8$.

Pour celle du milieu, $29^{mill.},1$, soit à très-peu près 50 p. 100 de plus.

L'oscillation horizontale n'a dépassé nulle part $6^{mill.},9$, grâce à la solidarité parfaite établie par les contrevents supé- **Flexions horizontales.**

rieurs et inférieurs et à la roideur latérale qui en résulte.

Les vibrations n'étaient, dit-on, pas plus prononcées que sur un remblai.

La flèche de fabrication fixée à $0^m,09$, était réduite après la pose à 0,045, ce qui donne pour l'abaissement relatif au milieu 1/1.555 de l'ouverture.

Pont de Pforzheim. (Pl. IX, *fig.* 7 et 8.)

104. On remarque dans le pays de Bade, sur les routes ordinaires, de nombreux ponts en tôle, dont l'importance n'est pas comparable à celle du précédent, mais qui offrent quelquefois des particularités de construction remarquables. Je citerai, par exemple, le pont de Pforzheim, sur l'Enz, dans lequel on a adopté pour la liaison des traverses avec les poutres la disposition usitée en Hanovre.

Ce pont est formé de deux travées de $25^m,80$ d'ouverture.

Le treillis des poutres est formé de barres de $0^m,075$ de large et 15 millimètres d'épaisseur, espacées de $0^m,255$ d'axe en axe.— Au droit des piles et culées, de grandes feuilles de tôle en forme de trapèze (τ, τ) sont rivées sur le treillis.

Les poutrelles, espacées de $2^m,40$, sont elles-mêmes en treillis.

Soudure des plates-bandes inférieures.

Aux termes du marché, tous les fers d'angle et les feuilles de plates-bandes elles-mêmes devaient être soudés. Cette opération, longue et embarrassante, fut supprimée pour la partie supérieure de la poutre, pour laquelle elle n'avait en effet aucune utilité; on s'attacha seulement à appliquer parfaitement les uns contre les autres les abouts des feuilles et des cornières.

Rivure à chaud.

Toute la rivure a été faite à chaud; on a constaté qu'il fallait, à froid, deux cents coups au lieu de vingt-huit pour faire une tête; d'un autre côté, il faut plus de précision dans la correspondance des trous, et l'application exacte des têtes est plus difficile à obtenir : c'est, du reste, précisément en cela que consistent et la garantie et la difficulté des travaux à froid.

Ce pont est revenu à $0^f,624$ le kilogramme.

Wurtemberg. — *Ponts en treillis d'Esslingen.* 1° Pont sur le Hammerkanal. (Pl. VIII, *fig.* 18, 19, 20.)

105. On a construit récemment deux ponts sur poutres en treillis sur le chemin de fer Wurtembergeois; ils sont situés à Esslingen : l'un sur le bras du Neckar qui traverse cette ville, l'autre sur le *Hammer-Kanal*, qui fournit l'eau motrice aux ateliers du chemin de fer et au grand établissement de Kessler.

Celui-ci est en biais (*fig.* 20), et a : $18^m.54$ d'ouverture, normalement aux culées, et $23^m,96$ suivant le biais.

Les poutres ne présentent qu'un détail à signaler. Les plates-

bandes proprement dites sont relativement très-faibles; mais aussi les fers d'angle, au lieu de saisir immédiatement les barres du treillis, comprennent deux pièces intermédiaires ou joues verticales *j*, *j* de $0^m,275$ de haut et 9 millimètres d'épaisseur; par suite de la petitesse de leur hauteur relativement à celle de la poutre, ces feuilles sont soumises, comme les bandes horizontales, à des efforts uniformément répartis dans leur section, et contribuent d'ailleurs plus efficacement à la roideur de la partie comprimée. Elles sont les équivalents des crêtes ou nervures avec fers d'angle du pont d'Offenbourg (101); seulement leur position est inverse relativement à la plate-bande.

Celle-ci est formée : en haut, d'une seule feuille large de $0^m,43$ et épaisse de 15 millimètres; en bas, de deux feuilles de $0^m,55$ sur 17 millimètres; de plus, les bords des cornières affleurent ceux de la plate-bande; celles du bas ont $0^m,110$ de côté, tandis que celles du haut ont seulement $0^m,083$. Cette infériorité de la section de la région comprimée est contraire aux idées reçues.

Les barres du treillis, larges de $0^m,086$, épaisses de $12^{mill.},5$, sont espacées d'axe en axe de $0^m,280$. Mais sur les culées et jusqu'à $5^m,50$ environ au delà, les contre-fiches sont doublées. On a été conduit à cette addition par quelques expériences faites sur un modèle au 1/10e, et qui ont donné d'abord des résultats analogues à ceux qu'on a observés en Hanovre (84), mais dont on n'a pas tiré des conséquences aussi forcées. Avec le treillis ainsi consolidé par des pièces en décharge vers la région des appuis, la résistance augmentait beaucoup, et la rupture rentrait dans les conditions normales; c'est-à-dire qu'elle s'opérait au milieu, par le déchirement d'une plate-bande et l'affaissement de l'autre. Contre-fiches doublées près des appuis.

Les poutrelles sont disposées comme en Hanovre, mais placées le plus bas possible, par suite des conditions du niveau des rails; elles sont espacées de $1^m,54$, avec une traverse en bois dans chaque intervalle. Au droit des poutrelles le treillis est revêtu sur ses deux faces de larges bandes de tôle *mm*, *nn*, épaisses de 12 millimètres à l'extérieur et de 7 à l'intérieur, qui servent d'intermédiaires pour fixer au treillis les cornières des grands goussets *gg*.

106. Quelques mots suffiront sur l'autre pont, formé de trois petites travées : 2e Pont sur le petit bras.

1° Les poutrelles sont en bois et simplement posées sur la

plate-bande consolidée par des goussets; le corps de la poutre n'est pas au milieu des plates-bandes : on l'a reporté vers l'extérieur pour rapprocher de l'axe le point d'application de la résultante des pressions;

2° Les feuilles et les cornières des plates-bandes supérieures et inférieures sont toutes soudées. L'absence de couvre-joints donne aux ouvrages un aspect plus soigné, plus fini : mais c'est son seul avantage.

3° A peine ce pont était-il terminé que le défaut d'entretoisement des poutres s'est fait sentir. Elles se déversaient en se gauchissant, inconvénient auquel on a paré, mais incomplétement, au moyen d'une contre-fiche en fer fixée d'une part à chaque poutrelle, et de l'autre à la plate-bande supérieure.

Ces deux ponts sortent des ateliers de Kessler (1), ainsi qu'un troisième, plus léger, d'ouverture plus considérable, destiné au passage du Necker par une route ordinaire (à Cannstadt), et dans lequel on a adopté la fonte pour la plate-bande supérieure.

Prusse. — Ponts de Dirschau et de Marienbourg.

107. Le treillis sera appliqué aux ponts de Dirschau sur la Vistule, et de Marienbourg sur le Nogat, mais combiné, comme au Britannia, avec un plafond et un plancher. Le pont de Dirschau sera, sans contredit, un monument fort remarquable par ses proportions (6 travées de 121^{m},26 d'ouverture), mais il dérive complétement de la conception de Stephenson. La substitution du treillis aux parois pleines n'est qu'une affaire de détail, et le pont de Dirschau ne sera, quoiqu'on repousse pour lui cette qualification, pas autre chose qu'un *pont tubulaire.*

Le système tubulaire n'est pas abandonné en Angleterre.

C'est, du reste, à tort qu'on présente souvent le principe des ponts tubulaires comme déjà abandonné en Angleterre. Ses applications sont restreintes, parce qu'il suppose une ouverture considérable, 50 mètres au moins; mais il subsiste comme une solution précieuse, susceptible d'ailleurs d'améliorations de dé-

(1) La fabrication des ponts en tôle est un véritable travail de grosse chaudronnerie et, à ce titre, naturellement annexée aux ateliers de construction de locomotives.

tail. Dans le nouveau pont de ce genre qu'il a construit à Brotherton ($68^m,60$ d'ouverture), M. Stephenson a supprimé les cellules, en se contentant de cintrer légèrement le plafond pour lui donner plus de roideur (1), et conservé les parois verticales pleines, presque seules employées, du reste, en Angleterre pour tous les systèmes de poutres.

108. Ce n'ést pas seulement pour les ponts fixes que l'emploi des poutres en treillis se généralise en Prusse, mais aussi pour les ponts tournants. On en trouve plusieurs exemples à Berlin (pont du chemin d'Anhalt, pont de la *Wasserthor*, sous le chemin de ceinture, etc.) Ces ponts sont à double volée, et à deux poutres de rive armées au moyen d'un double poinçon et de tirants. La disposition des appuis mobiles aux deux bouts est le même qu'au pont de Leer (95). *Ponts tournants sur poutres en treillis.*

Les travées tournantes de $11^m,7$ d'ouverture, du grand pont en bois, de 3.600 mètres de longueur totale, jeté sur les trois bras de l'Oder, à Stettin (chemin de Stargard), sont également en treillis. Le pont sur l'Oder proprement dite est à double volée, et l'autre, sur la Parnitz, à simple volée. Le troisième bras a aussi une travée mobile, mais en bois, et dont la disposition n'est pas heureuse; elle a 19 mètres de longueur et pivote sur un bout tandis que l'autre roule sur un petit chemin de fer en arc de cercle installé sur des palées. *Pont sur l'Oder, à Stettin.*

109. Un des principaux ponts en tôle des chemins de fer prussiens est celui d'Altstadt, sur la Ruhr (ligne de Cologne à Minden). Je ne m'arrêterai pas aux détails de construction de ce pont formé de travées de $24^m,40$ d'ouverture et construit chez Börsig à Berlin; le modèle qui a servi aux expériences de Hanovre (82) était d'ailleurs la réduction exacte au 1/8 d'une de ces travées; seulement la plate-bande supérieure qui était en tôle dans les poutres d'épreuve, est en fonte dans le pont de la Ruhr. Cette particularité est en rapport avec une autre plus importante et sur laquelle je reviendrai tout à l'heure (117), c'est *Pont sur la Ruhr à Altstadt.*

(1) Chaque tube, de 6 mètres de haut et $3^m,36$ de large, pèse 250.000 kilogrammes.

que les poutres sont complétement interrompues sur les piles.

Cette discontinuité des poutres, dans les ponts comprenant plusieurs travées, commence à trouver des partisans en Allemagne. Le pont cité tout à l'heure (107), destiné au passage d'une route sur le Neckar, est construit dans ce système : les plates-bandes supérieures sont en fonte, et réunies sur les piles par un joint à rainure et languette, simplement pour maintenir la rectitude de l'ensemble ; les plates-bandes inférieures et les treillis sont complétement interrompus. Le pont de Boom, mentionné dans la note suivante, est dans le même cas : l'indépendance des travées est complète.

Viaduc en fer devant l'enceinte de Cologne.

110. Le chemin rhénan, qui n'avait jusqu'à présent à Cologne qu'une station extérieure provisoire, vient de se prolonger pour atteindre la station définitive entièrement terminée ; il suit le fleuve et passe devant la nouvelle enceinte fortifiée ; un remblai eût masqué les batteries casematées, et la compagnie a été autorisée à construire un viaduc en fer, sur palées en fonte, d'une destruction facile. Ce travail ne présente du reste rien de remarquable.

Poutres du système Néville.

111. Le système Néville, récemment appliqué en Belgique sur une très-grande échelle (1), l'a été également en Autriche, où les ingénieurs n'ayant pas de parti pris en matière de ponts en fer, sont disposés à accueillir tous les types de construction, pourvu qu'ils aient déjà fait leurs preuves. Le chemin du Nord

Pont de Prérau.

traverse la Bezwa, à Prérau, sur un pont Néville, formé de cinq travées de 19 mètres d'ouverture, et de trois poutres espacées de 1m,58 de milieu à milieu. Le poids d'une telle travée pour simple voie, est : 45.360 kilogrammes, superstructure non comprise. Ce pont, construit en 1851, a été soumis à des épreuves très-sévères auxquelles il a très-bien résisté. Malgré le grand nombre de pièces qu'on reproche à juste titre à ce système, on est disposé à le préférer, économiquement parlant, aux poutres en treillis et

(1) Sur le Rupel, entre Boom et Willebroeck (Pl. IX, fig. 14).

Ce pont est biais (angle des axes 76°) et a 206 mètres de long. Il est formé de sept travées fixes et de deux travées mobiles ; le tablier est porté par trois fermes.

Le pont tournant, à double volée, long de 45m,30, est construit exactement comme les travées fixes, et armé sur chaque tête par une colonne en fonte et deux couples de haubans.

Les sept travées fixes pèsent 313.000 kilogrammes et le pont tournant 140.000 kilogrammes.

surtout au système tubulaire; aussi est-il question de l'appliquer bientôt sur de plus grandes proportions.

112. Lorsque les poutres sont placées sous le tablier et l'ouverture un peu grande, il y a aujourd'hui une certaine tendance à remplacer les poutres double T, par des caisses prismatiques de même section pleine. A défaut d'exemple de cette disposition en Allemagne, je dirai quelques mots de l'application faite récemment en Belgique sur le chemin de fer de Charleroi à Namur, pour le passage de la Sambre. *Poutres creuses.*

Le pont de la Sambre a 33 mètres d'ouverture, et deux voies portées par deux poutres de rive et une intermédiaire, ayant toutes trois $0^m,51$ de large, et respectivement $2^m,44$ et $3^m,05$ de haut: on n'a pas procédé ici comme au pont d'Offenbourg (101): l'équarrissage et la hauteur de la poutre du milieu ont été combinés de manière à lui donner une résistance double de celle des poutres de rive. Et en effet sous une charge uniformément répartie de 200.000 kilogrammes (3.000 kilogrammes par mètre courant de voie simple), la première a fléchi de 27 mill. et les deux autres de 26 mill. **Pont de la Sambre (Belgique).**

113. L'établissement des ponts sur poutres en tôle, à grande portée, soulève plusieurs questions que je passerai rapidement en revue en cherchant à rassembler quelques-uns des éléments de leur solution : *Questions que soulève l'établissement des poutres en tôle.*

1° Le tablier peut être placé : sur les entraits inférieurs, ou sur le haut des poutres, ou dans une position intermédiaire.

2° S'il y a deux voies, elles peuvent être supportées par deux ponts distincts, tout à fait indépendants, ou être solidaires; et dans ce second cas, il peut y avoir, ou deux poutres de rive seulement, ou deux poutres de rive et une intermédiaire.

3° Si le pont a plusieurs travées, les poutres peuvent être ou continues sur les piles, ou formées de parties séparées.

4° Le corps de la poutre peut être ou plein, ou en treillis.

1° Position du tablier.

1re *question.* 114. Lorsque cette position n'est pas imposée par d'autres considérations, on doit préférer celle qui assure le meilleur contreventement des poutres. En installant le tablier sur le sommet, on a toute latitude pour les entre-toiser aussi à la partie inférieure; mais outre que cette position est souvent interdite par le profil du chemin, les poutres n'ont pas besoin, quand leur hauteur est faible, d'être contreventées en haut et en bas : un seul étage de contrevents suffit, pourvu qu'il occupe leur région moyenne. L'exhaussement des poutrelles paraît donc très-motivé quand il s'applique, comme en Hanovre, à des poutres pour lesquelles le double contreventement en haut et en bas est, ou inutile, à cause de leur hauteur médiocre; ou impossible parce que cette hauteur quoique déjà considérable, est encore moindre que celle des cheminées de locomotives.

Inconvénients de la position intermédiaire du tablier pour les grandes portées. Mais quand la largeur des ouvertures conduit tout naturellement à donner aux poutres une grande hauteur, c'est-à-dire quand le double entretoisement devient à la fois très-utile et très-facilement praticable, on ne voit pas dans quel but on peut être conduit à y renoncer. Le relèvement des poutrelles a nécessairement pour effet d'augmenter la largeur du pont, car l'accotement doit être compté alors, non à partir du corps de la poutre, mais à partur du bord de la plate-bande. C'est ainsi qu'au pont de Langon (99) on a adopté pour les poutres un écartement de 8m,30 d'axe en axe pour avoir un passage de 7m,40, à cause de la saillie de 0m,45 des plates-bandes vers l'intérieur. Sous ce rapport le projet du pont de Langon ne paraît pas à imiter. L'exemple du pont d'Offenbourg (101) qui a, à très-peu près, la même ouverture que les travées extrêmes de Langon, prouve

qu'on peut, avec le tablier inférieur, obtenir à très-peu de frais un contreventement parfaitement efficace, simplifié dans ce cas, il est vrai, par la présence d'une poutre intermédiaire.

2° Indépendance ou solidarité des deux voies.

115. Sur un chemin construit d'abord à une seule voie, l'indépendance offre l'avantage d'une économie actuelle; mais cette considération est secondaire. En Hanovre, l'indépendance a été appliquée également aux ponts construits immédiatement pour deux voies, parce qu'on l'a regardée comme préférable en elle-même. *2e question.*

La solidarité présente certainement des avantages : ce sont même, au premier abord, les plus frappants. Ainsi elle donne au solide considéré en masse une largeur double qui s'oppose efficacement, surtout pour les grandes portées, à la tendance au gauchissement latéral : elle améliore, en un mot, ses proportions. De plus, jusqu'à ce qu'il soit prouvé que les vibrations ne hâtent pas la destruction des ouvrages en tôle rivée, on doit assurément regarder comme avantageux d'augmenter la masse qui y participe, de disséminer dans une masse double les ébranlements produits par le passage d'un train.

1° Solidarité avec une poutre intermédiaire.

Mais l'unité a, d'un autre côté, des inconvénients sérieux. S'il y a une poutre intermédiaire, cela revient à rendre solidaires, dans le cas précédent, les deux poutres intérieures, disposition qui serait très-convenable si les deux voies devaient toujours être chargées en même temps; mais cette circonstance se présente rarement : et pour le cas ordinaire, celui où un train seulement franchit le pont, l'inégalité de roideur des deux poutres dont les flèches sont :: 1 : 2, entraîne dans

la section transversale du système des changements de forme non symétriques, et dans les attaches des poutrelles et des goussets aux poutres, des tiraillements dont l'influence doit être à coup sûr au moins très-suspecte. La gravité de ces effets croît d'ailleurs avec l'ouverture, puisque la différence des flèches augmente en même temps qu'elle. Si, comme on l'a fait au pont d'Offenbourg (102), on réduit l'excès de résistance de la poutre du milieu, elle se trouve surchargée lors des croisements de trains, et de plus les inconvénients attachés à l'inégalité des flèches subsistent alors, aussi bien quand les deux voies sont chargées que quand une seule l'est. Mais ils sont fort atténués, et dès lors la poutre intermédiaire admise, il semble plus convenable de la calculer pour une charge moyenne, comme à Offenbourg, que pour la charge maximum, c'est-à-dire en vue des croisements de trains, comme on l'a fait au pont de la Sambre (113). C'est cependant à ce second parti que paraît s'arrêter la majorité des constructeurs (1).

2° Solidarité avec deux poutres de rive seulement.

Des objections graves s'élèvent aussi contre l'emploi de deux poutres de rive seulement, supportant les deux voies; la répartition fort inégale de la charge entre les deux poutres, lors du passage d'un train,

(1) L'exemple le plus récent, en France, est le pont à peine terminé, sur le Roubion, près Montélimart (chemin de Lyon à la Méditerranée). Les trois poutres ont la même hauteur; les largeurs et les épaisseurs ont été combinées de manière à réaliser l'égalité des résistances.

Ce pont devait être formé de trois travées de 36^m; la confiance médiocre des ingénieurs dans les ouvrages en tôle les a décidés à doubler le nombre des travées.

M. Brunel a donné également un équarrissage double à la poutre intermédiaire dans le pont qu'il a construit sur la Tamise, à Windsor, pour le passage du chemin de fer (Pl. VIII, fig. 21).

produit, comme l'inégalité des résistances dans le cas précédent, l'inégalité des flèches.

En supposant la charge des deux rails concentrée sur l'axe de la voie, les flèches des deux poutres sont entre elles $:: \frac{d+e+2^m,25}{d+0,75}$ d étant la distance du corps de la poutre au rail extérieur, et e l'entre-voie. Au pont de Langon, par exemple, on a $d = 1^m,65$, $e = 2^m$, ce qui donne pour le rapport des flèches : 2,45.

On ne peut pas diminuer ce rapport comme on le fait pour le rapport 2, dans le système à trois poutres, en réduisant l'équarrissage de celle du milieu. Mais les poutres étant deux fois plus roides que celles extrêmes du pont à trois poutres, la différence des flèches est, en somme, moindre que pour celui-ci; et comme même à flèche relative égale, l'inclinaison transversale du tablier est beaucoup moindre dans le pont à deux poutres, la déformation, l'altération de la symétrie transversale est, en définitive, notablement moins prononcée dans ce type.

Comparaison des masses de métal nécessaires.

Quant à la masse de métal nécessaire, elle est évidemment la même pour le pont à poutres indépendantes et pour celui à trois poutres solidaires (ou un peu moindre dans ce cas, mais avec une réduction correspondante de la résistance, si on procède comme à Offenbourg). Pour le système à deux poutres de rive, dont la disposition générale peut varier, la masse de métal dépend, à travail égal du fer, des combinaisons adoptées : mais il est facile de reconnaître qu'à type égal, c'est-à-dire quand les poutrelles sont supportées seulement aux deux bouts, ce mode de construction exige une masse de métal notablement supérieure à celle des deux séries de poutrelles des ponts indépendants.

En supposant la distance du rail extérieur au corps de la poutre le même dans les deux cas (quoiqu'elle soit plus grande dans

la grande poutrelle), on a (Pl. IX, *fig.* 13) la relation $\frac{I'}{V'} = 2\frac{I}{V}$ (1), d'où on déduit que si les poutrelles avaient pour section des rectangles semblables, leurs équarrissages seraient :: 1,56 : 1, rapport qui exprimerait à très-peu près aussi celui des masses: car la demi-entre-voie étant moins large que l'accotement, cette différence compense sensiblement l'excédant de longueur de celui-ci dans le pont à deux voies solidaires; de sorte que la longueur totale des poutrelles est à très-peu près la même dans les deux types.

Inconvénients d'une armature inférieure des poutrelles.

On peut, il est vrai, réduire l'équarrissage des poutrelles en les soutenant au milieu par une armature fonctionnant, à leur égard, à peu près comme une poutre intermédiaire; mais il faut alors les relever beaucoup; et l'addition de cette armature inférieure, admise comme on l'a vu pour le pont de Langon, ne paraît pas assez avantageuse pour justifier à elle seule l'exhaussement des poutrelles.

L'excès de poids des poutrelles peut, du reste, être racheté en partie par une certaine économie dans la construction des poutres; deux poutres seulement peuvent à charge égale et même un peu supérieure, avoir une masse moindre que quatre, parce que l'accroissement même des épaisseurs permet d'augmenter la hau-

(1) d étant l'accotement, ε la largeur de voie, on a, en négligeant l'encastrement partiel dû au mode d'attache des poutrelles aux poutres,

pour la poutrelle simple: $\frac{P}{2} = \frac{IR}{V\left(d+\frac{\varepsilon}{2}\right)}$;

et pour la poutrelle double: $P = \frac{I'R}{V'\left(d+\frac{\varepsilon}{2}\right)}$,

expression indépendante de la longueur de l'entre-voie, parce que toute la partie mn comprise entre les axes des deux voies est un arc de cercle dont le rayon ne dépend que de d et ε.

teur du solide, d'y répartir en un mot le métal d'une manière plus favorable à la résistance.

En résumé, trois poutres semblent préférables à deux, et une poutre intermédiaire de résistance *moyenne*, préférable à une de résistance *double*, si l'on admet la solidarité; mais l'indépendance des deux voies paraît être, dans l'état actuel de la question, la combinaison qui offre le plus de garanties, parce que tous les efforts s'y développent symétriquement, que tout le système travaille pour ainsi dire carrément (1). Malgré les critiques dont il a été l'objet, le pont Britannia est et sera longtemps sans doute, en matière d'application de la tôle aux constructions, non-seulement un exemple unique par sa hardiesse, mais aussi le plus fécond en enseignements. Ce n'est pas légèrement que M. Stephenson s'est décidé à laisser ses deux tubes complétement isolés l'un de l'autre; la considération du levage qui était, en définitive, la seule mais aussi l'immense difficulté de l'exécution, n'est évidemment pour rien dans le parti pris à cet égard, puisque la solidarité n'aurait été établie qu'après le levage, et sans entraîner d'autres modifications que la juxtaposition de ces deux tubes.

L'indépendance des deux voies paraît être le meilleur parti.

3° Continuité ou indépendance des travées.

116. La question que soulève, indépendamment du système des poutres, l'établissement des ponts de plusieurs travées, peut se présenter sous deux formes. Ou bien la position des piles est donnée (comme au détroit de Menai par exemple), et c'est par une distribution convenable

3e question. Comparaison des travées continues et indépendantes.

(1) Le système à deux poutres de rive peut d'ailleurs être imposé, à l'exclusion des autres, par la présence d'un changement de voie.

des équarrissages qu'on se rapproche plus ou moins de l'égalité de résistance pour toutes les travées : ou bien la section du solide étant uniforme, il s'agit de distribuer les piles de manière à remplir cette condition, c'est-à-dire l'égalité des efforts développés, sous une même charge, dans les sections dangereuses de toutes les travées. Mais il y a, avant tout, une question, préjudicielle pour ainsi dire, que celles-ci supposent tranchée ; c'est de savoir s'il convient, dans un pont de plusieurs travées, de faire la poutre continue dans toute sa longueur, ou de traiter chaque travée comme un pont distinct.

Continuité; ses avantages et ses inconvénients.

Généralement on ne pose même pas cette question, tant les avantages de la continuité paraissent évidents. Elle réalise, en effet, à un certain degré, très-variable d'ailleurs, l'encastrement sur les piles ; elle crée des points d'inflexion et équivaut ainsi, au point de vue des efforts longitudinaux développés dans les poutres, à une véritable réduction des portées.

La continuité n'aurait que des avantages si elle produisait un encastrement complet sur les piles, c'est-à-dire si la tangente restait toujours horizontale, quel que fût le mode d'application des charges, égales ou inégales, simultanées ou successives, sur les deux travées contiguës. Elle exige seulement qu'on tienne compte dans la construction de la poutre, des conditions différentes dans lesquelles elle se trouve de part et d'autre de chaque point d'inflexion, puisque la plate-bande est tendue d'un côté d'un de ces points, et comprimée de l'autre. Si les ouvertures sont petites, et si par suite chaque travée doit supporter des charges mobiles considérables relativement à sa propre masse, les points d'inflexion se déplacent notablement avec elles, et une même région des plates-bandes est

soumise, tantôt à des efforts d'extension, tantôt à des efforts de compression. On en est quitte pour disposer cette région des deux plates-bandes, ou mieux encore la totalité de leur longueur, de telle sorte qu'elles résistent également bien aux efforts dirigés dans les deux sens. C'est ainsi, par exemple, que dans le pont de Langon (99) les doubles cornières latérales destinées à raidir les plates-bandes sont appliquées non-seulement à la partie supérieure mais aussi au bas des poutres, tandis qu'ici une simple surépaisseur serait préférable s'il s'agissait d'une travée unique. De même, la fonte, qui peut être employée pour la plate-bande supérieure dans les travées indépendantes, parce qu'elle est comprimée partout, est inadmissible dans les travées solidaires. Ainsi l'emploi de la fonte, admis à tort ou à raison comme on l'a fait pour le pont de la Ruhr (109), pour celui du Neckar (106), etc..., exclut nécessairement la continuité, et réciproquement.

S'il ne s'agissait que de l'exclusion de la fonte, ce serait certainement une bien faible objection contre la continuité; mais celle-ci interdit également l'application de divers types de poutres d'une construction judicieuse. Tel est, par exemple, le système Néville (Pl. IX, *fig.* 14) : sans être absolument incompatible avec la continuité, il s'y prêterait fort mal, à cause des équarrissages très-différents, en quelque sorte supplémentaires, donnés aux deux éléments, — fer et fonte, — des plates-bandes mixtes, suivant la nature de l'effort auquel elles doivent résister. Aussi tous les ponts de ce constructeur sont-ils à travées indépendantes. La continuité exige, d'un autre côté, des dispositions qui permettent le libre jeu des dilatations et des contractions, précaution superflue quand la longueur est répartie entre plusieurs travées indépendantes et d'une faible portée.

117. Examinons maintenant l'influence de la continuité sur les conditions mêmes dans lesquelles chaque travée est placée.

En réalité, il n'y a encastrement entre deux travées que si elles remplissent certaines conditions corrélatives de longueurs et de charges : ainsi, pour deux travées égales, posées sur trois appuis, l'encastrement n'est admissible que si elles sont également chargées, c'est-à-dire pour certaines circonstances toutes particulières, telles que l'épreuve au moyen d'une charge uniformément répartie (1) : mais un pont est fait pour supporter des charges qui se déplacent, qui occupent successivement chacune des travées pendant que les autres sont déchargées ; et alors, c'est-à-dire pour le cas vraiment pratique, on peut ou avoir à peu de chose près l'encastrement, ou en être au contraire fort loin ; tout dépend de la grandeur des portées.

Les avantages de la continuité dépendent de l'ouverture.

Une travée de $22^m,48$ à simple voie comme celle du pont de Sarstedt (87), pèse 37.650 kilogrammes : une travée de 140 mètres d'un des ponts-tubes de Menai pèse 1.500.000 kilogrammes ; il est vrai que sur les chemins de fer, la charge maximum d'une travée est proportionnelle à sa portée ; mais cette charge, par unité de longueur, est indépendante de l'ouverture, tandis que le poids du mètre de travée croît rapidement avec cette dimension. Le passage d'un train sur une travée affectera donc bien différemment dans les deux ponts l'inclinaison de la tangente sur les points d'appui, parce que le relèvement de la travée voisine, très-notable dans le premier cas, sera à peu près insensible dans

(1) La tangente serait toujours horizontale aussi dans le cas de deux travées de longueur a, b, chargées au milieu de poids P, P_1, tels que $Pa = P_1b$. Mais je laisse de côté les cas de ce genre qui ne se réalisent jamais dans les ponts.

le second, à cause de l'influence dominante du poids de la travée elle-même.

La continuité peut donc être parfaitement motivée pour celui-ci, sans qu'on soit autorisé à la regarder par cela même, comme fondée pour l'autre.

On admet, en Hanovre, que les longueurs de trois travées de même section, et qui sont respectivement :

indépendante,
extrême,
intermédiaire,

doivent être entre elles :: 3 : 4 : 5 pour satisfaire à la condition d'égale résistance. Ainsi on adopte le même équarrissage pour un pont d'une seule travée de 30 mètres, et pour un pont de trois travées ayant respectivement : les extrêmes 40 mètres, et celle du milieu 50 mètres d'ouverture.

Mais ces rapports ne sont pas exacts, même en admettant l'encastrement sur les appuis intermédiaires. Si on suppose qu'on rende solidaires trois travées d'abord indépendantes, la résistance de la travée du milieu augmente de 50 p. 100, et celle des travées extrêmes ne change pas : seulement leur section de rupture se transporte du milieu sur la pile, leur flèche décroît dans le rapport 2, 4 : 1, et celle de la travée intermédiaire dans le rapport 5 : 1. Quant à la condition d'égale résistance, elle donne :

La longueur de la travée indépendante étant représentée par.	1
Pour celle d'une travée extrême.	1
Et pour celle d'une travée intermédiaire.	1,22 (1)

(1) p étant le poids par unité de longueur, a, a', a'' les longueurs respectives des trois travées de même section et d'égale résistance, on a :

Pour une travée indépendante : $p = \frac{8IR}{Va^2}$, $f = \frac{5}{384}\frac{pa^4}{EI}$;

la progression 3, 4, 5, ne conviendrait pas non plus au cas, sans intérêt d'ailleurs, où toute la charge serait supposée concentrée au milieu de la travée : c'est la série 3, 4, 6 qui exprime alors les longueurs d'égale résistance (1).

Influence de la continuité dans le cas d'une charge uniformément répartie sur toute la poutre.

118. Il est donc nécessaire, pour apprécier exactement l'influence de la continuité, de traiter le solide tout entier.

Soit p une charge uniformément répartie sur tout le pont, rapportée à l'unité de longueur, et comprenant son propre poids et, par exemple, la charge d'épreuve. On trouve facilement pour l'inclinaison C de la tangente sur les piles, a et b désignant respectivement la longueur de la travée intermédiaire et celle des travées extrêmes :

$$C = \frac{1}{24} p.a \times b.\, \frac{2a^2 - 3b^2}{3a \times 2b}.$$

Cette valeur est nulle, quel que soit p, et par suite l'encastrement a lieu, pour $a = b\sqrt{1,50} = 1,22b$, c'est-à-dire précisément la valeur qui conduit, — l'encastrement admis, — à l'égalité de résistance des deux travées (118). — Ce rapport réalise donc à la fois, dans

---

pour une travée extrême : $p = \frac{8\,IR}{Va'^2}$, $f' = \frac{5}{384}\frac{pa'^4}{EI}$;

pour une travée intermédiaire : $p = \frac{12\,IR}{Va''^2}$, $f'' = \frac{1}{384}\frac{pa''^4}{EI}$,

d'où $a' = a$, $a'' = 1,22a'$.

(1) Pour une travée indépendante : $P = \frac{4\,IR}{Va}$, $f = \frac{1}{48}\frac{Pa^3}{EI}$;

pour une travée extrême : $P = \frac{16}{3}\frac{IR}{Va'}$, $f' = \frac{1}{48\sqrt{5}}\frac{Pa'^3}{EI}$;

pour une travée intermédiaire : $P = \frac{8\,IR}{Va''}$, $f'' = \frac{1}{192}\frac{Pa''^3}{EI}$;

d'où $a' = \frac{4}{3}a$, $a'' = 2a$, ou $a : a' : a'' :: 3 : 4 : 6$.

le cas d'un poids quelconque uniformément réparti, et l'encastrement sur les appuis intermédiaires, et l'égalité de résistance des portées à égalité de section. C'est donc celui qu'on devrait adopter, s'il s'agissait effectivement d'un solide pour lequel la répartition uniforme des charges serait l'état normal, et on aurait facilement alors la mesure de l'influence de la continuité. S'il y a, par exemple, trois ouvertures, $3l$ étant la longueur du pont, on aurait, pour des travées indépendantes et qui doivent dès lors égales, $p = \frac{8\mathrm{IR}}{\mathrm{V}l^2}$. Avec les poutres continues, les longueurs des travées seront respectivement $0,931l$ et $1,22 \times 0,931l = 1,136l$, et on aura pour la travée extrême $p' = \frac{8\mathrm{IR}}{\mathrm{V}(0,931l)^2} = \frac{9,2\mathrm{IR}}{\mathrm{V}l^2} = 1,15p$, et pour la travée intermédiaire $p'' = \frac{12\mathrm{IR}}{\mathrm{V}(1,136l)^2} = p'$, comme cela doit être (1). La continuité augmente donc la charge-limite de plus de $1/7$, à équarrissage égal; elle crée d'ailleurs deux points d'inflexion dans la portée intermédiaire (à une distance $\frac{a}{2\sqrt{3}}$ de part et d'autre du milieu) et un autre au milieu de chacune des portées extrêmes; — à charge égale p, elle diminue de $0,15\,pl$ la charge sur chacune des culées et augmente d'autant la réaction des deux piles voisines.

Ces résultats ne s'appliquent pas aux conditions pratiques de la plupart des ponts.

119. Mais ces résultats, qui conviennent à une épreuve de charge uniforme, s'appliquent d'autant moins aux conditions du service, que la masse de la travée est

(1) Il y a non-seulement égalité de résistance, mais aussi coïncidence des sections de rupture; dans chacune des travées contiguës, la section de rupture est placée sur l'appui intermédiaire, et commune, dès lors, à l'une et à l'autre.

Méthodes suivies ordinairement par les constructeurs.

moins considérable relativement aux charges qui se déplacent sur elle.

Il faut alors supposer les diverses travées chargées non simultanément, mais successivement; la discussion devient alors plus compliquée; aussi les constructeurs s'en dispensent-ils le plus souvent.

Ils se contentent presque toujours de trois méthodes fort imparfaites: une d'elles consiste à calculer les équarrissages des travées, égales ou inégales d'ailleurs, comme si elles devaient être indépendantes; et à leur donner, par l'établissement de la solidarité, un surcroît de résistance, qui n'est, du reste, ni constant ni même toujours réel (117); une autre consiste à supposer que la continuité réalise l'encastrement sur les piles, et à calculer, en partant de là, soit les longueurs avec équarrissage constant, soit les équarrissages avec longueur constante, auxquels correspond l'égalité de résistance. Dans la troisième on considère le solide tout entier (ou sa moitié puisqu'il est presque toujours formé de deux parties symétriques), mais en le supposant chargé uniformément. C'est ainsi, par exemple, que M. Hodgkinson a calculé le pont Britannia.

La continuité doit toujours être appliquée aux ponts à grandes portées.

La continuité ne paraît pas pouvoir être mise en question quand les travées ont une grande ouverture, et par suite une très-grande masse. Mais même alors les charges qui occupent successivement chaque travée sont, sur les chemins de fer surtout, bien trop loin d'être négligeables relativement à cette masse, pour qu'on puisse admettre que l'encastrement, réalisé pour le cas d'une charge uniforme par le rapport 1,22 : 1, subsiste quand une travée est chargée et l'autre non. C'est tout au plus si cette hypothèse d'une répartition uniforme est admissible, en pratique, pour des masses colossales comme celles des tubes du pont Britannia, et elle est

tout à fait inacceptable dans les cas ordinaires. Il est donc nécessaire alors de poser les équations d'équilibre de chaque travée, considérée successivement dans les divers états par lesquels elle passe lorsque la charge maximum se déplace sur le pont (1).

120. Mais si les ouvertures sont médiocres, il ne reste que très-peu de chose des avantages attachés à l'encastrement, et non-seulement alors les équarrissages peu- Il peut être préférable d'y renoncer pour les ouvertures médiocres.

(1) On doit à M. Clapeyron une méthode simple et exacte pour la détermination des équarrissages d'un solide placé dans des conditions quelconques de répartition des appuis, et d'application de la charge; celle-ci est, seulement, supposée toujours répartie également sur toute la longueur d'une travée.

Supposant une des travées chargée et les autres libres, M. Clapeyron obtient pour chacune d'elles une équation dont les variables sont le moment $\left(\frac{EI}{\rho}\right)$, relativement à l'axe neutre, des forces moléculaires développées dans une section quelconque, et la distance qui fixe la position de cette section. Le calcul d'un certain nombre de valeurs du moment permet de tracer une courbe qui représente, pour ainsi dire, l'état de tension moléculaire dans toute l'étendue du solide, sous l'action de la charge admise. — Cette courbe donne donc le moment maximum, et la position de la section correspondante.

En opérant successivement de cette manière pour chacune des travées, considérée comme soumise seule à la charge, et traçant la courbe-enveloppe de toutes les courbes particulières obtenues ainsi, on a, pour chaque section, l'expression du moment des forces moléculaires qui doivent pouvoir s'y développer sans que la limite des efforts pratiques soit dépassée. L'équarrissage de cette section s'en déduit facilement, après avoir pris à volonté les éléments que l'indétermination du problème laisse arbitraires.

C'est par cette méthode, dans laquelle l'analyse est heureusement combinée avec une interpolation graphique, que M. Clapeyron a calculé les équarrissages des ponts d'Asnières et de Langon (99). Elle a été publiée par aperçu à la suite d'un travail de M. Brame, ingénieur des ponts et chaussées, intitulé : *Note sur l'application de la tôle à la construction de quelques ponts.* Il est à désirer qu'elle soit l'objet d'une publication plus complète, pouvant servir de guide aux constructeurs, qui ne manqueront pas d'en apprécier l'utilité et d'en faire l'application.

vent être calculés comme si les travées devaient être indépendantes, mais encore il peut être préférable de renoncer effectivement à la solidarité pour éviter la complication des effets qu'elle entraîne, le changement du sens des efforts développés dans les plates-bandes de part et d'autre des points d'inflexion qui se déplacent, et la propagation des efforts d'une travée à l'autre, propagation favorisée par la mobilité de la poutre continue sur ses appuis. On peut d'ailleurs, dans tous les cas, réaliser l'encastrement par un ancrage dans la maçonnerie des piles et culées. Appliqué à une extrémité seulement, cet expédient n'améliorerait pas la situation de la poutre (117) : il faut donc pour les grandes ouvertures, le combiner, à un bout, avec la faculté de glissement de la poutre sur ses plaques d'assise; c'est ce qu'on a fait au pont d'Offenbourg (Pl. IX, *fig.* 2). Un tirant *t* profondément amarré dans la maçonnerie est lié par une double chape, à clavettes inférieures et à goupilles supérieures, à une barre rivée sur le poteau vertical qui complète l'encadrement de la poutre. Une petite cheminée *cc* laisse à celle-ci le jeu nécessaire, et permet d'atteindre les clavettes pour régler le serrage; les portées étant très-longues relativement à l'amplitude du jeu, l'encastrement subsiste au même degré, quelles que soient les variations de température.

Encastrement au moyen de l'ancrage dans les culées.

4° Mode de construction du corps de la poutre.

4e question.

121. Reste la question, déjà examinée plus haut (84, 101), de valeur relative de la nervure pleine, et du treillis; le choix à faire entre ces deux modes paraît devoir être déterminé plutôt par des circonstances particulières à chaque cas que par des considérations générales.

Équarrissage des pièces du treillis.

En réalité, on peut et on doit tenir compte des deux solutions également acceptables. Aussi paraît-il néces-

saire d'examiner le mode de détermination des équarrissages du treillis. Les formules, dont l'usage est maintenant généralement répandu, suffisent pour calculer l'équarrissage d'une poutre double T à corps plein, dès qu'elle est convenablement contre-ventée. Mais, pour les poutres en treillis, on se contente d'un mode de calcul qui, s'il a le mérite d'une grande simplicité, ne constitue pas même une grossière approximation. On suppose que le treillis rend les plates-bandes parfaitement solidaires : quant aux conditions qu'il doit remplir pour cela, — aux équarrissages de ses éléments, — on ne s'en préoccupe pas, ou du moins on laisse à une vague imitation le soin d'y pourvoir tant bien que mal. On calcule donc simplement les plates-bandes d'après les règles connues, réduites à leur plus simple expression, par suite de la répartition uniforme des efforts due à la petitesse de l'épaisseur des plates-bandes relativement à la hauteur du solide.

Ces équarrissages peuvent cependant être déterminés par les considérations les plus élémentaires. Pour les systèmes de ce genre, dont les éléments ont à résister seulement à des efforts longitudinaux, l'application des règles de la statique est plus simple et aussi exacte que la considération des solides élastiques.

Conditions que doit remplir le réseau intercalé entre les deux plates-bandes.

122. Quelle que soit la disposition du remplissage intercalé entre les deux plates-bandes, il doit satisfaire à deux conditions distinctes :

1° Établir entre les deux plates-bandes une liaison telle qu'elles ne puissent fléchir isolément; qu'une section, plane et normale à l'axe dans le système libre, soit encore plane et normale à l'axe dans le solide fléchi;

2° Soustraire les plates-bandes à la mise en jeu de la résistance transverse, de telle sorte qu'il s'y développe uniquement des efforts longitudinaux. La plate-

bande supérieure peut alors être regardée comme formée de tronçons simplement juxtaposés bout à bout, et l'inférieure, de tronçons articulés.

Cette seconde condition exclut l'emploi de simples poteaux verticaux, lors même qu'ils satisferaient à la première. Elle exige que le remplissage forme *un réseau continu*. Soit donc (Pl. IX, *fig.* 9) un tel réseau composé de deux systèmes de barres, inclinées respectivement des angles α et 6 sur les plates-bandes.

1° *Solide posé sur deux appuis et chargé au milieu.*

Charge appliquée au milieu.

123. Tout étant alors symétrique de part et d'autre du milieu, le réseau doit l'être également.

La réaction $\frac{P}{2}$ de l'appui se décompose entre la plate-bande Ac et la contre-fiche Ab, et donne : suivant la première, une *tension* $\frac{P}{2\,\text{tang}\,\alpha}$; suivant la seconde, une *compression* $\frac{P}{2\sin\alpha}$.

Cette force se décompose, en b, entre la plate-bande supérieure et le tirant cb, et donne : suivant la première, une *compression* $\frac{P}{2\sin\alpha}\frac{\sin(\alpha+6)}{\sin 6}=\frac{P}{2}\left(\frac{1}{\text{tang}\,\alpha}+\frac{1}{\text{tang}\,6}\right)$, et, suivant le second, une *tension* $\frac{P}{2\sin 6}$.

Celle-ci donne de même, en c, suivant la plate-bande inférieure, une *tension* $\frac{P}{2\sin 6}\frac{\sin(\alpha+6)}{\sin\alpha}=\frac{P}{2}\left(\frac{1}{\text{tang}\,\alpha}+\frac{1}{\text{tang}\,6}\right)$, et suivant la contre-fiche cd, une *compression* $\frac{P}{2\sin\alpha}$, et ainsi de suite.

Contre-fiches.

Ainsi : 1° les pièces symétriquement placées de part et d'autre du milieu, qui convergent deux à deux vers le haut, ou *contre-fiches*, sont toutes comprimées et soumises à un effort $\frac{P}{2\sin\alpha}$;

Tirants.

2° Les pièces qui convergent deux à deux vers le bas, ou *tirants*, sont tendues et soumises à un effort $\frac{P}{2\sin 6}$;

Plate-bande inférieure.

3° La plate-bande inférieure a une tension croissante de l'extrémité au milieu ; les forces successives s'ajoutent, en négli-

geant la très-faible courbure du solide, et on a pour la tension en un point quelconque :

$$\frac{P}{2\tang\alpha}+\frac{NP}{2}\left(\frac{1}{\tang\alpha}+\frac{1}{\tang 6}\right)=\frac{P}{2}\left(\frac{N+1}{\tang\alpha}+\frac{N}{\tang 6}\right)=T \quad (a)$$

N désignant le nombre, diminue de 1, des *contre-fiches* comprises entre l'extrémité du solide et la section considérée.

4° La plate-bande supérieure a de même une compression croissante de l'extrémité au milieu, et exprimée par $\frac{NP}{2}\left(\frac{1}{\tang\alpha}+\frac{1}{\tang 6}\right)$ augmenté de $\frac{P}{2\tang\alpha}$; car la compression $\frac{P}{2\sin\alpha}$ de la dernière contre-fiche MK se décompose, au point M, en $\frac{P}{2\tang\alpha}$ suivant la plate-bande, et $\frac{P}{2}$ suivant la verticale. Cette force, et sa symétrique de l'autre côté de MN, font équilibre à la charge P. Plate-bande supérieure.

124. δ désignant l'intervalle de deux sommets, l la demi-longueur du solide, e sa hauteur, on a :

$$\delta=e\left(\frac{1}{\tang\alpha}+\frac{1}{\tang 6}\right),\ l=N\delta+\frac{e}{\tang\alpha}=e\left(\frac{N+1}{\tang\alpha}+\frac{N}{\tang 6}\right),$$

d'où
$$\frac{N+1}{\tang\alpha}+\frac{N}{\tang 6}=\frac{l}{e}.$$

Et substituant dans (a), $T=\frac{pl^2}{2e}$, valeur qu'on obtient immédiatement en exprimant l'équilibre du solide AMN, considéré comme un levier coudé évidé, et dans lequel la solidarité des parties supérieure et inférieure serait supposée obtenue par un moyen quelconque.

2° *Poids uniformément réparti.*

125. Le poids uniformément réparti p peut être remplacé par : $p\delta$ sur chaque sommet intermédiaire, et $\frac{p\delta}{2}+\frac{pe}{2\tang\alpha}$ sur chacun des sommets extrêmes. Charge uniformément répartie. (Pl. IX, fig. 10.)

La contre-fiche du milieu, Mb, a pour compression : $\frac{p\delta}{2\sin\alpha}$.

Cette compression se décompose en b entre la plate-bande et le tirant, et donne suivant celui-ci $\frac{p\delta}{2\sin 6}$.

Cette force se décompose en c entre la plate-bande supérieure et la contre-fiche cd, et donne suivant celle ci : $\frac{p\delta}{2\sin\alpha}$. Le poids appliqué au milieu donne donc respectivement sur toutes les contre-fiches et sur tous les tirants : $\frac{p\delta}{2\sin\alpha}$, $\frac{p\delta}{2\sin 6}$.

Le deuxième poids $p\delta$ appliqué en c se décompose entre la contre-fiche cd et la plate-bande cM, et donne : sur cd et sur toutes les contre-fiches suivantes, jusqu'à l'extrémité A, $\frac{p\delta}{\sin\alpha}$; sur ed et sur tous les tirants suivants, $\frac{p\delta}{\sin 6}$.

Le troisième poids de même, et ainsi de suite.

Contre-fiches. La première contre-fiche a donc pour compression : $\frac{p\delta}{2\sin\alpha}$;

La deuxième. . . . . $\frac{3}{2}\frac{p\delta}{\sin\alpha}$;

La troisième. . . . . $\frac{5}{2}\frac{p\delta}{\sin\alpha}$;

. . . .

La $(n-1)^e$. . . . . $\frac{2n-3}{2}\frac{p\delta}{\sin\alpha}$;

La n^e (la dernière), celle de la $(n-1)^e$ augmentée de :

$$\frac{p}{2\sin\alpha}\left(\delta+\frac{e}{\tan\alpha}\right), \text{c'est-à-dire} : \frac{p}{2\sin\alpha}\left[(2n-3)\delta+\delta+\frac{e}{\tan\alpha}\right]$$

$$=\frac{p(n-1)\delta}{\sin\alpha}+\frac{pe}{2\sin\alpha\tan\alpha}=\tau.$$

Plates-bandes. La tension en chaque point de la plate-bande inférieure est égale à la somme des poussées des contre-fiches comprises entre l'extrémité et ce point. On a ainsi successivement :

Poussée de 1 $\frac{p\delta}{2\sin\alpha}\frac{\sin(\alpha+6)}{\sin\alpha}=\frac{p\delta}{2}\left(\frac{1}{\tan\alpha}+\frac{1}{\tan 6}\right)$;

Poussée de 2 $\frac{3}{2}p\delta\left(\frac{1}{\tan\alpha}+\frac{1}{\tan 6}\right)$;

Poussée de 3 $\frac{5}{2}p\delta\left(\frac{1}{\tan\alpha}+\frac{1}{\tan 6}\right)$;

. . . .

Poussée de la $(n-1)^e$ (avant-dernière) :

$$\left(\frac{2n-3}{2}\right)p\delta\left(\frac{1}{\text{tang }\alpha}+\frac{1}{\text{tang }6}\right);$$

Poussée de la n^e :

$$\tau\cos\alpha=\frac{p}{2\,\text{tang }\alpha}\left[(2n-2)\delta+\frac{e}{\text{tang }\alpha}\right]\ (1).$$

On a donc pour la tension maximum, ou au milieu de la plate-bande :

$$\theta=\frac{p\delta}{2}\left(\frac{1}{\text{tang }\alpha}+\frac{1}{\text{tang }6}\right)(1+5+3+\ldots+2n-3)+$$
$$+\frac{p}{2\,\text{tang }\alpha}\left[(2n-2)\delta+\frac{e}{\text{tang }\alpha}\right]=$$
$$\frac{p\delta}{2}\left(\frac{1}{\text{tang }\alpha}+\frac{1}{\text{tang }6}\right)(n-1)^2+\frac{p}{2\,\text{tang }\alpha}\left[(2n-2)\delta+\frac{e}{\text{tang }\alpha}\right],$$

ou comme $\delta=e\left(\frac{1}{\text{tang }\alpha}+\frac{1}{\text{tang }6}\right)$;

$$\theta=\frac{pe}{2}\left(\frac{1}{\text{tang }\alpha}+\frac{1}{\text{tang }6}\right)^2(n-1)^2+\frac{pe}{\text{tang }\alpha}(n-1)\left(\frac{1}{\text{tang }\alpha}+\frac{1}{\text{tang }6}\right)+\frac{pe}{2\,\text{tang}^2\alpha}$$
$$=\frac{pe}{2}\left[\left(\frac{1}{\text{tang }\alpha}+\frac{1}{\text{tang }6}\right)^2(n-1)^2+\frac{2(n-1)}{\text{tang }\alpha}\left(\frac{1}{\text{tang }\alpha}+\frac{1}{\text{tang }6}\right)+\frac{1}{\text{tang}^2\alpha}\right].$$

Or on a, l étant la $\frac{1}{2}$ longueur de la poutre :

$$l=(n-1)\delta+\frac{e}{\text{tang }\alpha}=\left(\frac{1}{\text{tang }\alpha}+\frac{1}{\text{tang }6}\right)e(n-1)+\frac{e}{\text{tang }\alpha},$$

l'expression comprise entre les crochets est donc égale à $\frac{l^2}{e^2}$,

d'où : $\theta=\frac{pl^2}{2e}$, quels que soient α et 6 : valeur qu'on obtient de suite directement, comme ci-dessus (124), quand on admet la solidarité, abstraction faite des moyens employés pour cela, et des efforts éprouvés par les pièces qui la réalisent.

---

(1) La composante verticale est :

$$\tau\sin\alpha=\frac{p}{2}\left((2n-2)\delta+\frac{e}{\text{tang }\alpha}\right)=p\left[(n-1)\delta+\frac{e}{2\,\text{tang }\alpha}\right],$$

expression qui, augmentée de $\frac{pe}{2\,\text{tang }\alpha}$, force appliquée directement sur le poteau AH, donne pour la réaction de l'appui $p\left[(n-1)\delta+\frac{e}{2\,\text{tang }\alpha}\right]=pl$, comme cela doit être.

Passage au treillis proprement dit.

126. Si la longueur des contre-fiches est trop grande, on partagera (64) les intervalles des sommets en 2, 3... parties égales, et les points de division deviendront les sommets d'un réseau identique au premier, et le croisant; la charge de chaque sommet sera alors $\frac{p\delta}{2}$, $\frac{p\delta}{3}$ etc., au lieu de $p\delta$, et les équarrissages seront réduits dans le même rapport. La section des pièces du treillis devra d'ailleurs décroître des extrémités au milieu, et celle des plates-bandes, du milieu aux extrémités.

Influence de la liaison aux croisements.

Il est évident que la liaison opérée aux points de croisement des contre-fiches et des tirants modifie les conditions précédentes. Le réseau devient alors capable de résister par lui-même, dans certaines limites, sans le concours des plates-bandes. Il fonctionne, en un mot, comme une nervure pleine. Mais il convient de faire abstraction dans les calculs du surcroît de résistance dû à cette liaison, dont l'effet échappe d'ailleurs à une évaluation simple et exacte.

3° *Poids appliqué en un point quelconque.*

Charge appliquée en un point quelconque.

127. Le réseau doit être formé en conséquence, c'est-à-dire que ses éléments doivent avoir des dispositions inverses de part et d'autre du point d'application de la charge, de même qu'ils étaient, dans les deux cas précédents, symétriques de part et d'autre du milieu. Autrement les pièces homologues, comprimées d'un côté de la charge, seraient tendues de l'autre, et réciproquement.

Cette condition remplie, il suffit, m et n étant les distances du point d'application de la charge aux appuis, de remplacer (123) leur réaction $\frac{P}{2}$ par $\frac{Pn}{m+n}$ pour les parties constituantes du segment m, et par $\frac{Pm}{m+n}$ pour celles du segment n. Les efforts respectifs sont alors :

	Segment m.		Segment n.
Contre-fiches.	$\frac{Pn}{m+n} \cdot \frac{1}{\sin \alpha}$	. . . .	$\frac{Pm}{m+n} \cdot \frac{1}{\sin \alpha}$;
Tirants.	$\frac{Pn}{m+n} \cdot \frac{1}{\sin 6}$	. . . .	$\frac{Pm}{m+n} \cdot \frac{1}{\sin 6}$;
Plates-bandes (effort maximum au point d'application)	$\frac{Pnm}{(m+n)^2}$	. . . .	$\frac{Pmn}{(m+n)^2}$.

4° Charge mobile.

128. Un réseau formé de contre-fiches et de tirants ne peut convenir à ce cas, puisque la condition indiquée tout à l'heure (127) doit être remplie alors successivement pour tous les sommets. Il faut donc qu'à chacun d'eux aboutissent deux pièces capables de remplir les deux fonctions, de résister également par extension et par compression ; il est naturel, d'ailleurs, de leur donner des inclinaisons supplémentaires. Les équarrissages se déterminent alors en donnant à m et n, dans les expressions ci-dessus (127), les valeurs qui fixent la position de chacun des sommets. Charge mobile.

Il est nécessaire, d'ailleurs, pour une charge uniformément répartie et surtout pour une charge mobile, de placer au droit de chaque appui des poteaux verticaux capables de la supporter, si le tablier est posé sur le haut des poutres.

129. On placera le système comprimé dans les conditions les plus favorables en faisant $\alpha = 90°$, puisqu'on réduira ainsi au minimum et l'effort de compression, et la longueur de la pièce qui le subit (*fig.* 11). Quant aux tirants, dont l'équarrissage est indépendant de la longueur, et simplement proportionnel à l'effort, il n'y a pas d'inconvénient à donner à 6 une petite valeur. Mais cette inclinaison est limitée en moins et la longueur en plus par la nécessité de ne pas diviser la plate-bande supérieure en tronçons trop longs, non entretoisés, et qui auraient par suite une grande tendance à fléchir isolément surtout dans la région moyenne de la poutre.

Cette tendance est, du reste, combattue très-efficacement par la disposition en treillis indiquée (126) et la réduction qui résulte pour la longueur des tronçons.

Si l'on fait $6 = 90°$, on a le système (*fig.* 12) dont la disposition de Howe (63) dérive immédiatement, en ajoutant à chaque sommet la seconde contre-fiche qu'exige une charge mobile. Système de Howe

Il est clair que le mode de décomposition qui s'opère entre les pièces qui concourent à chacun des sommets d'un tel système est indéterminé. La compression des contre-fiches additionnelles peut même être nulle, dans le cas d'un poids appliqué au milieu ou d'un poids uniformément réparti (et en général quand le mode d'application des charges est symétrique de part et d'autre du milieu), puisque l'équilibre s'établirait quand même ces contre-fiches n'existeraient pas.

L'indétermination subsiste, seulement entre des limites moins larges, pour les autres circonstances de l'application de la charge, par exemple pour une charge mobile.

On doit donc, pour la détermination des équarrissages, attribuer aux contre-fiches additionnelles, c'est-à-dire celles qui convergent deux à deux vers le haut, le maximum de la charge variable.

C'est également dans cette hypothèse que doit être calculé l'équarrissage du premier système de contre-fiches, car c'est à elle aussi que correspond le maximum de compression de ces pièces. On reconnaît facilement en effet (*voir* l'appendice) que la compression éprouvée par la branche additionnelle de chaque croix de Saint-André augmente d'une quantité égale la compression éprouvée par l'autre branche, de sorte que l'excès de la première force sur la seconde est constant, quel que soit le mode de décomposition qui s'opère au sommet. Dans le cas, par exemple, d'un poids P appliqué au milieu, il est toujours égal à $\frac{P}{2 \sin \alpha}$.

On reconnaît facilement aussi :

1° Que les contre-fiches additionnelles ne modifient en rien l'intensité des efforts auxquels les plates-bandes sont soumises en chaque point (toujours, bien entendu, en faisant abstraction de la liaison opérée directement entre les contre-fiches à leurs points d'intersection).

2° Que ces efforts résultent de l'inégalité des poussées, de sens contraires, exercées sur chaque plate-bande par les deux branches inégalement comprimées de chaque croix de Saint-André, — poussées dont la différence est constante, d'après ce qui vient d'être dit, — malgré l'indétermination de leurs intensités particulières. Ainsi, dans le cas d'un poids appliqué au milieu, la poussée effective exercée par chaque croix sur

chacune des plates-bandes, est : $\frac{P}{2 \tang \alpha}$, ce qui donne pour la somme de ces poussées, ou, pour l'effort de la plate-bande au milieu, $\theta = \frac{NP}{2 \tang \alpha}$, et à cause de $\tang \alpha = \frac{Ne}{l}$, $\theta = \frac{Pl}{2e}$.

Dans les cas de $\alpha = 90°$ (*fig.* 11), l'addition d'un second tirant dans chaque compartiment donne, en quelque sorte, l'inverse de la disposition de Howe. Les pièces verticales travaillent alors par compression, et les pièces obliques par extension. C'est à ce type qu'appartient le pont de Windsor cité page 362 (note). Les poutres sont formées (Pl. VIII, *fig.* 21) d'un arc et d'une corde liés par des poteaux en fer et par un double système de tringles suivant les diagonales ; la disposition circulaire des poutres doit d'ailleurs être regardée comme n'ayant ici d'autre effet, sinon d'autre but, que de réaliser à très-peu près la forme théorique d'égale résistance. Elle n'est praticable, du reste, que quand le tablier est posé sur la base des poutres.

Disposition inverse de celle de Howe.

Pont de Windsor.

130. La durée des ponts en tôle est probablement subordonnée à la découverte d'un bon enduit. On sait aujourd'hui que la peinture au minium, généralement employée, n'empêche pas la formation de la rouille ; d'ailleurs l'enduit, quel qu'il soit, est peu efficace s'il n'est appliqué sur des surfaces bien décapées.

Peinture des ponts en tôle.

On a adopté en Hanovre la composition appliquée au pont de Britannia, pour lequel on s'est beaucoup préoccupé de cet important accessoire. C'est une peinture à l'huile de lin et au blanc de plomb à laquelle on ajoute une petite quantité d'essence de térébenthine. Les surfaces sont grattées et brossées jusqu'à ce qu'il n'y reste plus la moindre trace de rouille. On applique quatre couches, et on saupoudre la dernière de sable très-fin et parfaitement sec.

On suppose que cette peinture durera cinq ans ; son renouvellement devra être alors précédé d'un grattage assez dispendieux.

On a jugé que le blanc de zinc n'avait pas subi encore des épreuves assez prolongées, pour qu'il fût prudent de le substituer au blanc de plomb.

Ponts suspendus destinés à livrer passage aux locomotives.

Mais plusieurs ponts suspendus, nouvellement construits, l'ont été dans la prévision qu'ils livreront passage aux locomotives. Un des ingénieurs qui marchent le plus résolûment dans cette voie hardie, M. Ellet, regarde d'ailleurs comme chimérique la conception d'une poutre posée aux deux bouts, et d'un appareil de suspension, se complétant l'un par l'autre; on ne peut, d'après lui, songer à fonder la résistance du système sur la combinaison de deux principes incompatibles, et il faut opter entre eux; mais il pense que tout en laissant les câbles supporter toute la charge, on peut donner au tablier le degré de rigidité qu'exigent les chemins de fer. Cependant, en admettant qu'on puisse atténuer ainsi à un degré suffisant les déformations dues à la flexibilité des câbles, le tablier reste toujours assujetti à suivre toutes les variations de flèches correspondantes aux changements de température. Il en est de même, il est vrai, dans les ponts sur arcs en métal; mais la raison d'être des ponts suspendus consiste dans les grandes ouvertures qu'ils admettent, et par suite l'abaissement et le relèvement du tablier acquièrent, au milieu, une amplitude très-grande.

Quoi qu'il en soit, il est question de faire passer un chemin de fer sur deux ponts suspendus de 300 mètres d'ouverture situés sur le Niagara: l'un près de Lewiston, l'autre près de Queenston.

Le même ingénieur, M. Ellet, avait fait le projet d'un autre pont en aval de la cataracte, et qui devait être construit dans la prévision du passage d'un chemin de fer; mais on commença par établir une passerelle suspendue pour le service des travaux; et les actionnaires trouvant qu'elle suffisait aux besoins actuels de la circulation, jugèrent à propos d'ajourner la construc-

tion d'un pont définitif jusqu'à l'époque où la question du tracé du chemin de fer serait résolue (1).

Pont sur la Theiss.

Ces exemples ont engagé les ingénieurs autrichiens à étudier le projet d'une travée suspendue de 152 mètres sur la Theiss. Voici les points essentiels de ce projet : 1° flèche très-faible (inclinaison de la tangente au sommet des piliers 8°); 2° garde-corps formé d'une poutre creuse en tôle de 1m,38 de haut, superposée à des poutrelles en tôle double T; 3° câbles-amarres sous le tablier. On pense qu'un tablier ainsi constitué posséderait la roideur nécessaire, tout en se prêtant aux variations de flèche des câbles.

Pont sur le Danube, à Vienne.

La reconstruction du pont du chemin de fer du Nord et celle du pont de la route ordinaire, à Vienne, ont été étudiées collectivement et comprises dans un même projet. Le pont serait double ; il y aurait deux tabliers superposés affectés l'un au chemin de fer, l'autre à la route, supportés par deux étages de câbles, et entretoisés entre eux. Le fleuve serait d'ailleurs franchi au moyen d'une grande travée de 190 mètres, et de deux demi-travées. On fait valoir en faveur de cette combinaison la grandeur de la masse du pont, qui serait de beaucoup supérieure à celle d'un train. Mais c'est là une considération peu importante. La masse relativement faible des ponts suspendus est pour quelque chose dans leurs mouvements, sans doute, mais elle n'est pas la cause principale ; et il ne suffirait pas pour les empêcher de se déformer, de leur donner une grande masse.

---

(1) M. Stephenson a dû arrêter récemment le projet d'un pont à construire à Montréal (Bas-Canada), sur le Saint-Laurent, qui a 6.400 mètres de large. Les détails de cet immense projet seront sans doute bientôt connus.

Peu de valeur de ces combinaisons.

Ces combinaisons ne peuvent inspirer qu'une médiocre confiance. D'une part, c'est une solution économique qu'on cherche, et l'exemple du pont suspendu de Pesth prouve que le principe de la suspension n'est pas toujours aussi économique qu'on l'avait supposé. Il ne faut pas, d'un autre côté, s'exposer légèrement à placer sur une ligne importante un ouvrage qui pourrait, en définitive, devenir fort cher par son entretien onéreux et sa courte durée, sans compter les assujettissements imposés au service par les ralentissements, peut-être l'interdiction du passage du pont aux locomotives, etc. Il est très-probable que l'expérience qui est ou va être tentée en Amérique, réussira; mais en pareille matière, les conditions du succès sont loin d'être les mêmes, en Amérique et en Europe. L'introduction en Europe de ces expédients provisoires qu'admettent, qu'exigent même les développements d'un pays neuf, serait loin d'être un progrès. On réussira donc en Amérique, parce qu'on ne demande qu'une chose : que le service se fasse tant bien que mal; et qu'on se préoccupe médiocrement des garanties d'ordre et de sécurité qui sont pour nous une nécessité impérieuse.

Application de la suspension aux ponts canaux.

Il y a longtemps que la suspension est appliquée, aux États-Unis, aux ponts-canaux, auxquels elle convient, en effet, parfaitement à cause de la répartition uniforme et de l'invariabilité de la charge, invariabilité qui n'est évidemment modifiée en rien par le passage des bateaux : le pont-canal suspendu de Pittsbourg suffit ainsi, depuis plusieurs années, à une navigation fort active. On a facilement une bâche étanche par suite de l'immobilité absolue du système, immobilité qui ôte aux exemples de ce genre toute valeur au point de vue de l'application aux chemins de fer.

134. L'établissement de ponts suspendus parfaitement rigides n'a, je le répète, rien d'absolument impossible en lui-même. Si on conçoit un pont sur arcs retourné, rien ne sera changé que le sens des efforts, et la rigidité subsistera; mais ce ne sera pas un pont suspendu; ce sera un système qui, comme le pont fixe dans sa position primitive, n'admettra que des ouvertures très-restreintes, et sera dans des conditions bien plus défavorables. Si on voulait, dans les ponts suspendus d'une grande ouverture, remplir tout l'intervalle compris entre les câbles et le tablier par un réseau parfaitement rigide, fonctionnant sauf le sens des efforts, comme les tympans des ponts sur arcs, la dépense qu'ils entraîneraient, et par eux-mêmes et par suite de l'influence de leur poids sur l'établissement des câbles et des massifs d'amarrage, serait énorme. Quelle que soit d'ailleurs l'ouverture, des arcs concaves, travaillant par extension et exigeant de dispendieux travaux pour leurs piliers, l'assemblage de leurs éléments, leur amarrage, ne peuvent pas soutenir la comparaison avec les arcs convexes comprimés.

Tout ce qu'on peut faire, sans rêver pour les ponts suspendus des améliorations qui faussent leur principe et les rendent impraticables, c'est d'atténuer leur flexibilité, leur tendance à changer de forme : d'une part, en donnant au tablier la plus grande roideur compatible avec la nature de ses supports et la légèreté nécessaire de sa structure; de l'autre, en agissant sur les câbles eux-mêmes. Les chaînes sont sous ce rapport plus traitables que les câbles en fil de fer. En rendant solidaires, par des entretoises convenablement disposées, les deux nappes superposées qui constituent très-souvent le support de chaque tête, on forme une sorte de voûte renversée évidée, dans laquelle le jeu des articulations et la flexion des arcs sont fort atténués.

Disposition de ce genre au nouveau pont sur le Neckar, à Manheim. (Pl. IX, *fig.* 16.)

135. On remarque un exemple de cette disposition dans le nouveau pont construit sur le Neckar, à Manheim. Les articulations d'une nappe correspondent naturellement au milieu des côtés de l'autre. Ces sommets sont réunis, de chaque côté, par des barres de fer *f*, *f*, enfilées sur les extrémités des goujons d'assemblage, et formant ainsi, avec les barres extrêmes de chaque nappe, un double réseau triangulaire. Ce mode de liaison est certainement pour beaucoup dans la rigidité que possède ce pont, et, à coup sûr, bien préférable à un expédient souvent usité pour atteindre ce but, c'est-à-dire l'exagération de la masse du tablier ou des câbles eux-mêmes.

Viaduc de la Sitter.

136. La question dont on se préoccupe en Autriche, et qui y sera très-probablement résolue négativement, vient d'être tranchée dans ce sens pour un grand travail que je citerai, quoiqu'il n'appartienne pas à l'Allemagne : c'est le viaduc de la Sitter, sur le chemin de Saint-Gall à Wyl (Suisse). Cette petite ligne coupe trois vallées profondes : celles de la Sitter, de la Glatt et de la Thur. Elle traverse la première sur 160 mètres de largeur et à une hauteur maximum de 60 mètres. A la suite d'une discussion approfondie des diverses solutions proposées, M. Etzel, ingénieur bavarois, chargé de la direction des travaux, a été conduit à exclure les ponts suspendus non comme absolument inadmissibles, mais comme soumis, sous les chemins de fer, à des causes de destruction qu'il paraît impossible de combattre. Les travaux de maçonnerie ont été également repoussés à cause de leur prix et du temps qu'eût exigé leur construction. Le système de Howe, d'abord adopté, a été abandonné à son tour pour le fer, définitivement admis sous la forme de poutres en treillis.

Cet ouvrage, maintenant en cours d'exécution, se compose de quatre travées presque égales : 40 mètres et $37^m,8$ d'ouverture. On n'a donc pas commis ici la même faute qu'en Hanovre. La disposition des poutrelles est d'ailleurs la même que dans les ponts de ce pays ; seulement les appendices ou goussets sont en fonte.

Les piles seront également en fonte, disposition appliquée en France dès 1839 au pont suspendu de Cubzac. Elles reposeront sur des socles en maçonnerie, et seront contreventées au-dessus de leur milieu par des entretoises en treillis de fer.

Ponts sur le Rhin.

Le Rhin ne porte jusqu'ici qu'un seul pont fixe, celui de Schaffouse. Tous les autres sont des ponts de bateaux ; moyen

précaire, et déjà insuffisant pour la circulation ordinaire (1). Cette riche voie navigable va cesser bientôt de mettre un obstacle à la continuité des voies de fer. Un pont ne tardera pas à être construit à Kehl, et c'est la France qui la première fera franchir le Rhin par une locomotive.

La jonction ainsi opérée, dans les circonstances les plus difficiles à certains égards (et qui ont pendant longtemps fait hésiter la Confédération germanique), les rives allemandes ne tarderont pas à être réunies également. La construction d'un pont à Cologne est depuis longtemps l'objet des préoccupations du gouvernement prussien, et des nombreux intérêts engagés dans la question. Elle avait fait cependant peu de progrès jusqu'à ce jour. Cologne, comme les autres métropoles commerciales du Rhin, est opposée à la suppression d'une lacune dont elle recueille les fruits. Un pont en tôle, proposé à diverses reprises, a été repoussé comme indigne de figurer près du fameux Dôme. Des griefs qui servaient surtout de prétexte à des intérêts de localité auraient pu l'emporter pendant longtemps encore sur les intérêts généraux, si la construction prochaine du pont de Kehl n'était venue menacer Cologne d'un danger plus grave, une diversion de trafic. Aussi la construction du pont de Cologne vient-elle d'être résolue. Il paraît qu'il sera sur arcs en fonte avec une travée mobile pour le passage des bateaux. Pont de Cologne.

(1) Le chemin de Cologne à Minden supplée provisoirement, par un expédient emprunté à l'Angleterre, au défaut de continuité entre son embranchement d'Oberhausen à Ruhrort, et la ligne d'Aix à Kréfeld et au Rhin. Un grand ponton à vapeur, pouvant recevoir douze wagons, permet d'éviter les transbordements.

§ V. — PONTS EN FONTE.

Ces ponts sont peu répandus en Allemagne.

137. L'emploi de la fonte est très-restreint en Allemagne. A l'époque très-récente encore où on a commencé dans ce pays à se préoccuper de l'application des métaux aux constructions, la fonte était déjà peu en faveur en Angleterre et en France ; et la tôle a été préférée, sans discussion, par les ingénieurs allemands, sur la foi de l'expérience acquise par leurs devanciers. Le duché de Bade a seul fait exception, par suite de la date ancienne à laquelle remonte la première section de son chemin de fer. Le pont sur arcs de la Kinzig, remplacé par le bel ouvrage cité plus haut (101), était, je crois, le plus important de ce genre qui existât en Allemagne, et ceux qui subsistent ne méritent pas d'être mentionnés.

Réaction exagérée contre l'emploi de la fonte.

Les accidents causés en Angleterre par l'emploi souvent abusif de la fonte, ont provoqué contre elle une réaction qui est, comme toujours, trop absolue. Sous forme de poutres, pour les ouvertures qui ne dépassent pas quelques mètres, sous forme d'arcs pour les ouvertures plus considérables, elle présente autant de sécurité que la tôle, et le choix entre elles ne doit être qu'une question de prix (1).

Mais, d'une part, ce prix dépend des principes dont on part pour la détermination des équarrissages (138); et d'un autre côté, on est conduit assez souvent, en généralisant outre mesure quelques faits particuliers, à exagérer l'infériorité relative de la fonte.

---

(1) La fonte a été adoptée tout récemment sous la première forme, pour un grand nombre de ponts *sur* le chemin de fer d'Auteuil ; et sous la seconde, pour le pont *sous* le chemin de fer, en construction sur le Rhône, à Lyon. Ces arcs auront 40^m d'ouverture.

Ainsi, on admet en général que le rapport des coefficients d'élasticité de la fonte et du fer oscille autour de 1/2. Si donc on prend pour base, non les résistances à la rupture, mais les résistances élastiques, on donne nécessairement à la fonte, employée même en arcs, des équarrissages deux fois plus forts qu'à la tôle. Mais les expériences de M. Fairbairn sur des fers double T ont donné en moyenne E = 11 milliards 1/2 (1), chiffre dont la fonte se rapproche souvent beaucoup, et qu'elle atteint et dépasse même quelquefois.

Limites très-larges entre lesquelles varient les coefficients d'élasticité de la fonte et du fer.

Il faut se défier de ces prétendus rapports moyens, déduits d'abord d'un petit nombre d'expériences, et qu'on se laisse aller à généraliser ensuite jusqu'à ce que les observations, en se multipliant, en fassent justice. On sait aujourd'hui ce qu'il y a de vrai dans la constance approchée longtemps admise pour le coefficient d'élasticité du fer (et par analogie pour celui de la fonte). Le fait que l'expérience confirme, ce n'est pas, tant s'en faut, la constance de cet élément, mais son indépendance à peu près complète à l'égard des autres propriétés essentielles du métal, c'est-à-dire la résistance à la rupture et l'allongement maximum.

La conséquence à tirer de là, c'est qu'au lieu de raisonner sur des moyennes qui peuvent s'appliquer fort mal aux fers et aux fontes dont on dispose, il faut dans

Nécessité de mesurer ce coefficient dans chaque cas.

---

(1) *Conway and Menay tubular bridges.*

Voir aussi : *Résistance des matériaux*, par M. Morin, p. 277 et 299. M. Fairbairn opérait par flexion transversale ; mais on ne peut attribuer la petitesse du coefficient à l'accroissement anormal de la flèche par suite d'un gauchissement. Le nom de l'auteur garantit l'exactitude de l'expérience.

Les poutres en tôle rivée construites par M. Kaulek et expérimentées par M. le général Morin, ont donné également des coefficients très-faibles (ouvrage cité, p. 227).

chaque cas déterminer non-seulement leur résistance à la rupture, mais aussi leur coefficient d'élasticité; ce qui n'est guère plus difficile.

Principes différents admis pour la détermination des équarrissages.

138. On peut d'ailleurs se servir, pour fixer les équarrissages, de deux méthodes distinctes dont le choix à peu près indifférent pour les arcs en fonte, cesse complétement de l'être quand il s'agit de poutres.

1re méthode.

Dans l'une, on considère que pour assurer au solide une résistance indéfinie, le rapport de la charge réelle à la charge de rupture immédiate ne doit excéder nulle part un certain maximum, fixé par l'expérience et par l'observation des constructions. Cette méthode conduit dès lors à donner aux diverses parties qui résisteraient respectivement par extension et par compression, *à l'instant qui précède la rupture*, si les charges étaient poussées jusque-là, des équarrissages *inversement proportionnels aux deux résistances à la rupture* (1).

2e méthode.

Dans l'autre, on part de ce principe que les matériaux ne peuvent pas, sans danger de rupture plus ou moins prochaine, être soumis à l'action constante ou discontinue d'efforts capables d'altérer leur élasticité, c'est-à-dire de leur imprimer une déformation permanente. Et comme l'égalité qui a toujours lieu à l'origine entre les deux résistances élastiques, persiste encore dans les limites des efforts qui n'altèrent pas l'élasticité, on est conduit à donner aux parties respectivement tirées et comprimées des équarrissages *égaux*, *quelle que soit d'ailleurs l'inégalité des deux résistances à la rupture*.

Pour le fer, ces deux résistances étant à peu près égales, les deux méthodes donnent des sections symétriques.

---

(1) Voir l'appendice.

Pour la fonte, dont les résistances extrêmes sont au contraire très-différentes, quoique l'égalité approchée des résistances élastiques se soutienne assez longtemps, la seconde méthode donne un profil symétrique, et la première une section qui s'en écarte beaucoup.

La première paraît préférable.

C'est celle-ci qui a été adoptée jusqu'à présent par tous les constructeurs pour les poutres en fonte; elle a contre elle aujourd'hui quelques autorités d'un grand poids, entre autres celle de M. le général Morin (1). Il semble néanmoins qu'on est rarement assez sûr de la limite que peuvent atteindre les charges accidentelles, et qu'il y a un intérêt trop réel à éloigner le véritable danger : — la rupture, — pour qu'on puisse hésiter à le faire quand cela n'augmente ni l'équarrissage, ni la main-d'œuvre. C'est seulement, il est vrai, par un tâtonnement expérimental qu'on peut arriver au mode de répartition le plus convenable de la matière dans le profil dissymétrique; car on ne sait pas quelle est, vers le point de rupture, la position de l'axe neutre (ou plutôt de la ligne des fibres neutres; il n'y a plus alors, en effet, *d'axe* proprement dit autour duquel la section normale correspondante tourne en restant plane).

Circonstances dans lesquelles la fonte peut être employée avec avantage.

Il n'y a pas à songer aujourd'hui à réhabiliter complétement les poutres en fonte : mais si elles sont bien et dûment condamnées pour les grandes ouvertures, elles peuvent cependant être appliquées avantageusement et en toute sécurité sur une petite échelle; pour de faibles sections transversales, on peut compter sur la proportionnalité des résistances aux équarrissages et se mettre facilement en garde contre les soufflures, et contre l'existence d'un état de tension dans le système.

Quant aux arcs, la fonte peut parfaitement (comme

(1) *Résistance des matériaux*, page 265.

la tôle) soutenir la comparaison avec la pierre dans les limites ordinaires d'ouverture et de surbaissement; et, bien loin de diminuer, ses avantages croissent quand ces limites s'élargissent, de sorte qu'elle est parfaitement admissible quand l'emploi de la pierre devient tout à fait impraticable ; ce qui tient à ce que si la densité de la fonte est bien supérieure à celle des pierres les plus lourdes, sa résistance dépasse, dans un rapport bien plus grand encore, celle des pierres les plus tenaces. Ce n'est donc pas seulement sous la forme des poutres que l'introduction des métaux a reculé les limites d'ouverture dans lesquelles les ingénieurs étaient forcés de se renfermer avant elle ; et si l'on a pu contester le parti qu'on peut tirer de la fonte pour les arcs à très-grande portée, le doute n'est plus permis aujourd'hui en présence du pont de Beaucaire (ouverture, 60 mètres, au 1/12 ; rayon d'intrados correspondant, 92^{m},50).

§ VI. — SOUTERRAINS.

Rareté des souterrains considérables sur les chemins de fer d'Allemagne.

139. J'ai déjà fait remarquer (32) le peu de goût des ingénieurs allemands pour les souterrains. Ils s'attachent à diriger le tracé de manière à réduire autant que possible la longueur et la profondeur des percements ; et à moins que cette profondeur ne soit encore excessive, ou le terrain trop mauvais, on les exécute à ciel ouvert. La construction et l'exploitation s'accordent à repousser les souterrains ; sans être absolument dépourvues de réalité, les critiques dont ils sont l'objet au second point de vue sont d'un ordre secondaire, à moins que la voie souterraine ne soit en même temps en rampe prononcée, car alors le patinage devient en effet fort gênant. Quant à l'exécution, quoique les souterrains soient sans contredit les ouvrages les plus difficiles en général, ceux qui présentent le plus d'imprévu et de mécomptes, les ingénieurs allemands ont fait trop complétement leurs preuves pour qu'on puisse attribuer à une sorte de défiance d'eux-mêmes leur répulsion pour cette catégorie de travaux. Reste la question d'économie : sans entrer à ce sujet dans une discussion de chiffres, et tout en accordant que dans les conditions relatives de prix élémentaires et à égalité de nature du terrain, l'avantage économique des tranchées persiste généralement jusqu'à une plus grande profondeur en Allemagne qu'en France, il est évident que la limite a été souvent largement dépassée au delà du Rhin.

Il va sans dire, d'après cela, qu'on ne trouve en Allemagne rien de comparable aux immenses souterrains de la Nerthe, de Blaisy, de Rilly (1), ni même à

(1) Les travaux du chemin de Lyon à Genève comprennent un souterrain de près de 4.000 mètres pour la traversée du *Credo*. Ce souterrain sera formé de deux alignements raccor-

ceux de Hommarting, de Saint-Irénée, etc. ; le plus considérable, et de beaucoup, celui du col de Semring, n'a que 1.500 mètres.

Souterrains du Semring. Puits inclinés.

Il a été attaqué, de chaque côté du faîte, par trois puits, dont deux verticaux et un incliné à 45°. Celui-ci partant de l'orifice du second puits vertical, qui a 104^m de profondeur, a permis d'établir un quatrième atelier à cette même distance du troisième, plus économiquement que par un troisième puits vertical.

Les souterrains sont, de même que les viaducs, très-multipliés sur le versant nord du Semring. Depuis Pettenbach jusqu'au sommet il n'y en a pas moins de vingt; mais six seulement (ceux de Wolfsberg (440^m), Weber-Kogel (380^m), Bollerswald (342^m), Lechner (304^m), Weinzettel (209^m) et Kartnerkogel (201^m), ont plus de 200 mètres de longueur. En somme, le passage du Semring a exige en tout $4^k,24$ de souterrains, concentrés sur une longueur de $10^k,16$. Leur nombre devait être moindre; mais quelques petites tranchées ont dû être voûtées soit à cause du défaut de consistance du terrain, soit pour protéger les voies contre les éboulements de roches, etc.

Plusieurs de ces souterrains sont courbes, sur une partie ou sur la totalité de leur longueur. L'un d'eux, situé entre Pettenbach et Klamm, et creusé dans un schiste argileux décomposé, menaçait ruine lors de mon passage; des écrasements et des lézardes se manifestaient dans le pied-droit placé vers la montagne à laquelle il présente sa concavité. Cette dernière circonstance devait être pour beaucoup dans les effets produits. La charge immédiate sur la voûte est très-faible, mais la pente du terrain est très-rapide, de sorte que le pied-droit a surtout à résister comme un mur de soutènement, concave vers la surcharge qui est très-considérable.

Du col du Semring, jusqu'à la limite actuelle du chemin, c'est-dire jusqu'à Laybach, on ne rencontre que sept tunnels qui sont successivement ceux :

---

dés par une courbe assez prononcée. Cette disposition en chevron, sans exemple jusqu'ici dans les grands souterrains, a dû être admise pour éviter la profondeur excessive, qu'un tracé rectiligne eût exigée pour les puits de la région intermédiaire.

d'Égidi . . . . 190 mètres.
de Leitersberg (près Marbourg). . . . 665
de Kerschbach. 243
de Kreuzberg. 186
de Lippoglauer. 255
de Hrastnigg. 131
et de Poganeck. 235

Le plus considérable, celui de Leitersberg, est à la fois en rampe de 0,007 à 0,009 et en courbe de 550 mètres de rayon.

140. On remarque sur la même ligne, entre Frohnleiter et Peggau, un travail assez singulier et bien connu en Autriche sous le nom de *Galerie de Badel*. Le rocher s'élevait à pic sur le bord de la Mür, sans laisser de place pour l'établissement du chemin de fer et de la route; l'abatage a conquis de la place et sur le rocher, et sur la rivière rejetée vers la rive droite : sur cette base on a construit une galerie, livrant passage intérieurement au chemin de fer, et par-dessus à la route. Cette galerie, longue de 380 mètres, est construite en berceau vers la roche, et en voûtes d'arrêtes vers l'extérieur. Elle a coûté fort cher par suite de vices d'exécution ; l'écrasement des piliers, construits en mauvais matériaux, a exigé leur reconstruction presque complète. *Galerie de Badel.*

141. Les autres souterrains à citer sont :

En Autriche :

Celui de Triebitz, par lequel le chemin du Nord passe du bassin du Danube dans celui de l'Elbe : longueur 510ᵐ ; il a présenté des difficultés sérieuses, et a partout un radier en voûte renversée. Celui de Kotzen, entre Trubau et Prague, long de 240ᵐ, et creusé dans le rocher. Sur les chemins en cours d'exécution, celui du col de Luegger, au pied du Tannengebirge (ligne de Bruck à Salzbourg), qui aura 950ᵐ de longueur et par lequel le chemin atteindra la large vallée du Salzbach. Autres souterrains en Autriche.

142. *Dans la Prusse rhénane :* En Prusse.

Le souterrain de Bielstock, sur la ligne de Saarbrück, long de 471ᵐ.

Le souterrain du bois d'Aix au chemin Rhénan de 697ᵐ de long, et ceux de Nirm, d'Eschweiler, de Norrem sur le même chemin travaux déjà anciens et par suite bien connus.

En Saxe.

143. *En Saxe :*

Le tunnel d'Oberau, de 514^{m}, sur la ligne, plus ancienne encore, de Leipzig à Dresde. C'est le seul du réseau saxon, sauf un petit tunnel de 170^{m} sur la ligne de Riesa à Chemnitz, d'ailleurs si remarquable par ses travaux d'art ; et encore ce petit échantillon remplace-t-il une tranchée à laquelle on a dû renoncer à cause des glissements dont on était menacé dans la roche de serpentine qu'il fallait traverser.

En Hanovre.

144. *En Hanovre :*

Le tunnel de Volmarhausen (près Münden), sur la ligne de Hanovre à Cassel, creusé dans un grès de transition avec lits d'un schiste argileux qui se décompose à l'air; il a 331^{m},7 de long, et est en courbe de 297^{m} et en rampe de 0,0025. Pour pouvoir commencer les percements aux deux bouts, sans attendre que les goulets des grandes tranchées fussent à fond (156), on a creusé de chaque côté une galerie souterraine de 1^{m},75 de côté, aboutissant au cerveau du tunnel, qui a été attaqué seulement par les extrémités. La différence des développements des pieds-droits est rachetée simplement par l'inégalité des épaisseurs des joints.

145. *Dans la Hesse-Électorale :*

Les souterrains de Hönebach et Guxhagen (ligne de Cassel à Gotha). Le premier a 1.077^{m}, et le second 472^{m} de longueur.

En Wurtemberg.

146. *En Wurtemberg :*

Le souterrain de Maulbronn (ligne de Heilbronn à Bruchsal) à la ligne de passage du Neckar au Rhin : 287^{m} de long : percé dans les marnes irisées.

147. *Dans le duché de Bade :*

Dans le duché de Bade.

Le petit souterrain d'Istein, de 120^{m} seulement, mais qui a été néanmoins un des ouvrages les plus difficiles de la ligne, parce qu'il traversait en plein un nid de marne aquifère de la plus mauvaise nature.

148. *En Bavière :*

En Bavière.

Le percement en cours d'exécution du Schwarzkopf, à Spessart, un des principaux ouvrages de la ligne de Schweinfurth à Aschaffenbourg et des chemins bavarois.

Les huit souterrains du chemin du Palatinat, qui contraste sous ce rapport avec la tendance systématique à l'exclusion de ces ouvrages sur les autres chemins allemands. Chemin du Palatinat.

NOMS DES SOUTERRAINS.	LONGUEUR.	PRIX du mètre courant.	PRIX total.
	mèt.	fr.	fr.
1. Heiligenberg.	1.347	386	518.595
2. Schönberg-Langeck.	355	300	109.500
3. Woslfsberg.	321	753	241.713
4. Kehre.	299	444	132.756
5. Schlonberg.	217	581	126.077
6. Gipp.	216	348	75.168
7. Mainzerberg.	212	424	89.888
8. Retschbach.	195	342	66.690
9. Kopf.	158	490	77.420
10. Lichtsteiner.	114	285	32.490
11. Französenwoog.	79	439	34.681
12. Eisenkeil.	64	480	30.720
	3.587		1,535.698

Quoique la faible longueur de ces souterrains, le premier excepté, soit nécessairement pour beaucoup dans le bas prix de revient du mètre courant, les chiffres ci-dessus que M. l'ingénieur Denis a bien voulu me communiquer, sont de remarquables exemples d'une exécution économique. Tous ces travaux ont été faits en régie: il est évident d'ailleurs que le terrain était généralement favorable. Cependant un seul de ces tunnels (n° 7), creusé entièrement dans le grès très-solide, a pu se passer complétement de revêtement. Sept autres sont muraillés en partie, et les quatre autres entièrement, voûtes et pieds-droits. Le prix du n° 1 s'est même trouvé élevé par la dépense de plusieurs puits qu'on aurait pu éviter, car ce souterrain a été terminé avant d'autres travaux moins importants, mais retardés par diverses causes.

Le cube total des déblais a été : 195.064 mètres cubes, au prix moyen de cinq francs le mètre. . . . . 957.320 fr.

Les revêtements et les talus ont exigé 34.383 mètres cubes de maçonnerie, et ont coûté en moyenne 5 francs le mètre cube. 515.820

§ VII. — TERRASSEMENTS.

REMBLAIS.

149. On a terminé tout récemment un remblai colossal et unique, à coup sûr; celui de Rentershofen, près Röthenbach, sur la grande ligne bavaroise, ligne si intéressante, soit par la variété et l'importance de ses travaux (33, 65), soit par la hardiesse de son profil.

Remblai de Röthenbach.

Ce remblai a 584 mètres de long, $52^m,56$ de hauteur maximum, 10 mètres à la crête, et $278^m,64$ de largeur maximum à la base; son cube s'élève à 2.200.000 mètres cubes.

Avantages de sa position sur un col.

La vaste dépression qu'il traverse forme en ce point un véritable col transversal à pentes douces; circonstance très-favorable, et qui du reste, le remblai admis, déterminait la position de l'axe du chemin. On échappait ainsi, en effet, à la nécessité de ménager à la base du remblai, un passage voûté pour les eaux. L'exécution d'un semblable passage eût été fort dispendieuse : en présence de l'incertitude qui règne sur l'évaluation des pressions développées dans une voûte soumise à une surcharge aussi inusitée (1), on donnerait aux épaisseurs une sorte d'exagération apparente. Et peut-être seraient-elles en réalité insuffisantes.

Les flancs escarpés de l'échancrure sont formés d'une épaisse alluvion d'où tout le remblai a éte tiré. Les terres, graveleuses, médiocrement argileuses, sont d'une bonne nature. La masse a d'ailleurs été revêtue d'une chemise de terre franche, fournie également par des emprunts latéraux. Le remblai repose sur un terrain tourbeux, dont l'épaisseur atteint 12 m., mais dont la mobilité n'a pas été un obstacle sérieux. Il a suffi pour opérer à la fois l'asséchement et la consolidation de la

Consolidation de la base du remblai.

---

(1) Voyez, relativement aux conditions de l'*arcboutement* de la surcharge sur les deux sections verticales du massif entre lesquelles la voûte est comprise, le travail, devenu classique, de M. le général Poncelet *sur la stabilité des revêtements et de leurs fondations* (*Mémorial du génie*, nº 13, p. 246 et suivantes).

Voyez aussi, sur les écrasements d'un passage voûté dans le grand remblai de Neuenmarkt : *Des progrès des machines locomotives*, etc. (*Annales des mines*, t. I, p. 374).

base du remblai, de creuser un réseau de tranchées longitudinales et transversales, poussées jusqu'à la limite du banc tourbeux, et de les remplir de pierre sèche.

Les talus, inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur, sont de plus divisés en gradins au nombre de cinq, larges de 5m,84, et espacés uniformément de 8m,76, ce qui porte l'inclinaison effective à 2.57 de base pour 1 de hauteur.

Si ce remblai est remarquable par ses dimensions gigantesques, si l'établissement de son état d'équilibre et son entretien soulèvent des questions intéressantes, son exécution n'a fait faire aucun progrès à l'organisation des grands chantiers de terrassements. La faible distance des transports excluait les locomotives, mais on n'a même pas employé les chevaux; les emprunts étagés étaient desservis par des voies en pente de 0,01 sur lesquels de petits wagons contenant 1m³ de déblai, descendaient à charge, et étaient remontés par deux hommes. La pente, primitivement, plus forte a dû être réduite, l'effort à la remonte étant trop considérable. On avait songé d'abord à établir un système de plans automoteurs, mais on recula devant quelques difficultés d'organisation. — Tout le profil avançait parallèlement à lui-même. Pour l'application de la chemise, les transports ont été fait à la bricolle, au moyen de petits tombereaux à deux roues traînés par des femmes. Le mode d'exécution ne présente pas d'intérêt.

Ce travail, exécuté en trois ans, à coûté 1.890.000 fr., soit 0f,859 le mètre cube.

Il est d'ailleurs d'un bel effet; lorsqu'on arrive de Kempten, et qu'à la suite d'une courbe cette masse énorme se présente avec les horizons si nets, si réguliers de ses gradins, on éprouve une impression bien différente, sans doute, de celle que produit un ouvrage d'art proprement dit, mais qui a aussi sa grandeur.

Il est douteux, du reste, que cette solution trouve des imitateurs. Elle a pu être économique dans une contrée où les salaires des terrassiers étaient très-bas. Mais il reste à savoir si on n'a pas grevé l'entretien, au profit de la construction.

Digue de Lindau. (Pl. VII, fig. 11.) Motifs qui ont déterminé l'exécution de ce travail.

150. La ville de Lindau s'élève, vers l'extrémité orientale du lac de Constance, sur une petite île rattachée à la terre ferme par un pont en charpente sur palées. Lindau est le port de la Bavière sur le lac, et l'un des principaux entrepôts de commerce de l'Allemagne avec la Suisse. Placer la tête du chemin de fer sur le littoral, en face de Lindau, c'eût été élever une ville nouvelle aux dépens et pour ainsi dire sur les ruines de l'ancienne. Le complément nécessaire de cette mesure était d'ailleurs la création d'un nouveau port, autour duquel se seraient groupés les entrepôts. La ville de Lindau a réussi à détourner ce coup funeste. Elle a obtenu que le chemin de fer pénétrât, à grands frais, dans son étroite enceinte, et cette espèce de Venise en miniature a aujourd'hui, comme celle de l'Adriatique, son pont des lagunes, long de 555 mètres.

Insuffisance d'un simple remblai.

On sait que le lac de Constance est souvent agité, et sujet même, parfois, à de véritables tempêtes. Ce n'est donc pas un simple remblai, protégé seulement par des perrés contre le clapotage, qu'il s'agissait de construire, mais un ouvrage capable de résister à des lames assez violentes, presque une jetée à la mer. La nature du fond, vaseux jusqu'à une grande profondeur (18 à 20 mètres), excluait d'ailleurs l'exécution d'un viaduc en maçonnerie, dont la fondation eût été extrêmement coûteuse.

On s'est donc arrêté à l'idée d'un ouvrage mixte, semblable aux grands remblais construits il y a quelques années à l'autre extrémité de la même ligne, entre Neuenmarkt et Marktschorgast (1). La chaussée se compose donc d'un noyau ou remblai flanqué de

---

(1) *Des progrès des machines locomotives*, etc., loc. cit.

murs en gros blocs de grès, et établi sur un massif d'enrochements (Pl. VII, *fig.* 11).

D'après le projet, les parements devaient être construits en blocs d'appareil, avec joints normaux. Mais la mobilité des enrochements, qui ont pris peu à peu un empatement énorme, et les affaissements inégaux de toute la masse, détruisaient bientôt cette régularité, quand ils n'allaient pas jusqu'à produire une perturbation complète dans les assises. On renonça donc à cette disposition, et on continua d'élever les gros murs en blocs bruts, dégrossis seulement sur les lits, et posés horizontalement. Les aspérités très-saillantes des parements auront, outre l'avantage de l'économie, celui de briser les vagues, dont une surface lisse eût favorisé l'ascension. L'aspect de l'ouvrage n'y perd rien, d'ailleurs. Les énormes tablettes en pierre de taille, avec cordon en saillie, qui couronnent les murs, suffisent pour donner à l'ensemble une certaine élégance, appropriée à son caractère de sévère simplicité.

Ces tablettes de $1^{m},46$ de queue, sont en grès provenant des carrières voisines et renommées de Bregentz. Le reste des murs est en grès ordinaire de Suisse.

Le travail étant à peine achevé et les comptes non terminés, on n'a pu m'indiquer le cube total, tant pierres que remblai, qu'il a absorbé ; ce cube doit être très-considérable, mais on pense que de nouveaux rechargements ne seront pas nécessaires.

Les remblais de 20, 22, 25 mètres, sont assez fréquents en Allemagne. Un des plus considérables est celui de Bunzlau, qui aboutit au viaduc de ce nom (38); il a 500 mètres de long et 23 mètres de haut. D'autres sont remarquables surtout par leur longueur, comme le grand remblai qui contourne la ville de Vérone, depuis la gare jusqu'au pont sur l'Adige (21), etc.

Éboulements de remblais formés d'argile humide.

151. On a commis assez souvent en Allemagne, comme partout, la faute d'employer pour ces travaux des argiles humides, et comme toujours cette faute a été payée cher. C'est ainsi, par exemple, que sur le chemin du Main au Weser, remarquable surtout par ses remblais, plusieurs d'entre eux, formés d'argile mouillée, se sont presque entièrement éboulés. Il a fallu les refaire en terre sèche, c'est-à-dire finir, après une grande perte de temps et d'argent, par où on aurait dû commencer.

Dans d'autres circonstances où le terrain était moins argileux, ou moins profondément pénétré d'eau, le mal a pu être facilement réparé ou même prévenu, mais non sans quelques embarras pour l'exploitation. Ainsi, à la suite des pluies de février 1852 des éboulements considérables ont eu lieu dans un grand remblai de marne très-argileuse, situé près de Bielefeld (ligne de Cologne à Minden) : l'une des voies a été complétement entraînée. Il a suffi de remplacer les terres éboulées par du sable, appliqué sur la partie du massif restée intacte, et dans laquelle on avait ménagé des redants. L'application d'une chemise sablonneuse assez épaisse a même arrêté complétement les indices d'éboulements qui se manifestaient sur la même ligne, dans le remblai aux abords du viaduc de Schilde.

Entraînement par le vent des remblais sablonneux des chemins hongrois.

152. La nature en quelque sorte inverse des terres a entraîné quelquefois des inconvénients non moins graves; ils se sont présentés surtout sur les chemins en cours d'exécution en Hongrie. Ces chemins sont généralement d'une exécution très-facile : seulement ils se maintiennent presque constamment en remblai, peu élevé du reste, pour se placer au-dessus des hautes eaux. Le bas prix des terrains permet de faire partout des emprunts latéraux très-peu dispendieux. Mais sur plusieurs points, ces remblais faits en sable presque pur et très-sec, ont été complétement déplacés par le vent, qui les a accumulés çà et là sous forme de dunes. Le mal est du reste plus facile à prévenir que pour les argiles, tout à fait inadmissibles d'ailleurs, quand

elles sont employées humides. Une chemise très-mince, et peut-être même quelque travail de fixation temporaire très-économique, suffira pour donner à la masse sablonneuse une stabilité suffisante dans le début, et qui ne fera que croître avec le temps.

153. Les travaux de remblai du chemin nouvellement terminé d'Ulm à Augsbourg, méritent une mention spéciale à cause de leur double destination. D'Ulm à Donauwörth le Danube était encore, jusqu'à ces derniers temps, à peu près dans l'état de nature. Ce que l'intérêt de la navigation n'avait pu obtenir, le chemin de fer l'a fait. Le tracé a été étudié au double point de vue de l'amélioration de l'une, et de l'exécution économique de l'autre. En plusieurs points, et sur des longueurs considérables, le chemin de fer a été établi dans le lit même du fleuve, et ces rétrécissements on fait disparaître beaucoup de hauts fonds. Ils ont d'ailleurs été combinés avec plusieurs rectifications importantes. Remblais du chemin d'Ulm à Augsbourg.

154. On peut rattacher aux remblais, les travaux qu'exige l'établissement de la voie en terrains marécageux. La ligne du sur autrichienne traverse, près de Laybach, des marais tourbeux à surface très-mobile. Le système de consolidation adopté comprend, de part et d'autre de l'axe, deux tranchées de largeur et de profondeur variables, remplies de pierre sèche; avec l'épaisseur ordinaire de ballast, posé sur la tourbe ainsi encaissée, la voie est parfaitement solide. Ce procédé, efficace mais fort coûteux, a été appliqué aux environs de Laybach sur une longueur de 2.400 mètres. *Établissement de la voie en terrain marécageux.* Chemin du sud autrichien.

Les terrains tourbeux que traverse la ligne de Munich à Augsbourg, notamment aux environs de Hattenhofen, à Haspelmoos, ont été consolidés d'une manière analogue; seulement, au lieu de tranchées continues, on a creusé des excavations très-rapprochées ayant $1^{m},20$ de profondeur, qu'on a remplies d'argile bien pilonnée. C'est, sur une grande échelle, une application du procédé connu de condensation des terrains mobiles, soit par l'insertion de pieux en bois, soit au moyen d'une substance minérale agissant par sa poussée. Sous ce rap- Chemin de Munich à Augsbourg.

port, le sable serait préférable à l'argile comme remplissage des fouilles.

TRANCHÉES.

155. Les longues et profondes tranchées sont nombreuses en Allemagne, parce que les longs souterrains y sont rares.

Tranchée de Harbastofen. C'est encore sur le chemin bavarois que se trouve la tranchée la plus gigantesque. C'est celle de Harbastofen, située à proximité du remblai de Röthembach (149); elle a près de 600 mètres de long, 32 mètres de profondeur maximum, et a fourni 860.000 mètres de déblai dont une partie forme un immense dépôt autour de la station placée à l'extrémité de la tranchée.

C'était le cas, assurément, de passer en souterrain; le projet adopté supposait, en effet, cette solution : mais on céda à la répulsion exagérée qu'elle inspire en Allemagne.

Tranchée de Gabelbach. 156. Une des tranchées de la ligne d'Ulm à Augsbourg, celle de Gabelbach, ne le cède que peu en profondeur a la précédente, et la dépasse en longueur. Après avoir suivi jusqu'à Offingen la vallée du Danube, et offert surtout depuis Gunzbourg, l'intéressante série de travaux mixtes déjà mentionnés (153), ce chemin entre dans la vallée du Mindel par une longue tranchée de $20^m,40$ de profondeur; puis il passe, à Gabelbach, dans la vallée de la Zusam par une autre tranchée qui a $27^m,40$ de profondeur maximum, 730 mètres de longueur, et a fourni plus de 1.000.000 de mètres cubes de déblais.

Tranchée du Faulenberg. La ligne en cours d'exécution de Bamberg à Hanau (Francfort) présente aussi une de ces vastes excavations, pour la traversée du Faulenberg, près Wurzbourg; elle a 876 mètres de long sur $25^m,10$ de profondeur.

Ce n'est pas seulement en Bavière, et sur les lignes nouvelles qu'on rencontre de semblables profondeurs; celles des tranchées aux abords des souterrains sont presque toujours très-considérables, parce qu'on s'est attaché surtout à réduire le plus possible la longueur des percements. C'est ainsi que la profondeur s'élève à 28 mètres aux abords du souterrain, cité plus haut (139), de Norrem, sur le chemin Rhénan. Au souterrain de Volmarshausen (144) elle atteint à l'une des têtes, 29 mètres, et à l'autre, $39^m,40$.

Il est inutile d'insister sur ces exemples remarquables sans doute par leurs proportions inusitées, exagérées peut-être, mais auxquels il manque quelque chose pour être vraiment dignes d'attention; le mérite d'une exécution économique et rapide, par des procédés mécaniques perfectionnés. Quand on voit la fouille et le transport de ces masses colossales opérés par les méthodes les plus élémentaires, à force de bras, on est choqué de la disproportion qui existe entre la faiblesse et l'imperfection de ces moyens, et l'immensité de l'œuvre.

Tranchées dans les terrains coulants.

Du reste, la question purement économique des méthodes de fouille et de transport n'est plus que secondaire, lorsqu'il s'agit de tranchées à ouvrir dans les terrains difficiles, d'autant plus que la profondeur est nécessairement alors très-limitée, sans quoi il faudrait bien se résigner à un passage souterrain. Sous ce rapport du moins, le développement des chemins de fer à fait faire à l'art des terrassements de remarquables progrès; et soit qu'il s'agisse seulement de se mettre en garde contre des éboulements ultérieurs, soit qu'on ait affaire à un terrain coulant de la plus mauvaise nature, l'ingénieur peut souvent apprécier *à priori*, presque à coup sûr, les conditions du succès. L'essentiel en pareil cas est de savoir de suite juger et accepter dans toute leur étendue les expédients nécessaires, sans passer par la désastreuse filière des tâtonnements infructueux.

Tranchée de Heidelsheim.

157. Une petite tranchée de la ligne de jonction des chemins badois et wurtembergeois, celle de Heidelsheim, présente un exemple remarquable des difficultés les plus graves, surmontées de la manière la plus complète et la plus méthodique; elle traverse sur 360 mètres de longueur et $6^m,60$ de profondeur, un mélange d'argile et de sable aquifère très-coulant; la surface seule avait une certaine consistance. Des sondages indiquaient que les eaux d'infiltration, retenues par des bancs de Muschelkalk

avec lits argileux, s'accumulaient dans une couche de gravier, recouverte par le terrain de sable et d'argile.

Galerie d'asséchement.

On reconnut que toute la masse aquifère devait être, avant tout, complétement asséchée par une galerie perméable, sorte de drain sur une grande échelle, recevant les eaux et les versant dans un ruisseau, le Saalbach, qui coule près de là. Cette galerie devait être placée à 4 mètres au-dessous du niveau du chemin : sa pente fut fixée à 1/300.

Exécution de cette galerie.

Mais cette galerie elle-même devait être exécutée à ciel ouvert : et dès lors la difficulté, quoiqu'amoindrie, subsistait encore. Quelques essais préliminaires indiquaient en effet que l'exécution d'une semblable tranchée, avec le développement de parois très-résistantes et parfaitement étanches qu'exigeait la nature du terrain, serait très-difficile et très-coûteuse.

Nécessité d'assécher préalablement toute la masse.

On résolut donc de n'exécuter la galerie elle-même qu'après avoir préalablement mis toute la masse à sec : à cet effet, on creusa onze puits, espacés de 30 mètres; ces puits étaient carrés et à double boisage, avec les intervalles garnis de mousse, qui laissait filtrer l'eau en arrêtant le sable. Ils furent foncés jusqu'aux bancs de Muschelkalk; on y installa alors des pompes, et on poussa vivement les épuisements qui ne donnèrent que des eaux parfaitement limpides. Le filtre fonctionnait bien.

Des sondages fréquemment répétés indiquaient jour par jour l'efficacité du remède. Ils prouvaient que le niveau des eaux souterraines s'abaissait rapidement, et que le terrain reprenait sa consistance naturelle; au bout de six semaines d'épuisement soutenu, toute la masse était asséchée : on procéda de suite et sans aucune difficulté, à l'exécution de la tranchée de la galerie, puis à la construction de celle-ci, qui fut faite en grès avec les joints simplement garnis de mousse. La galerie achevée, le jeu des pompes cessa : on était rentré alors dans les conditions ordinaires; la grande tranchée s'exécuta, en effet, sans encombre. On remblaya les puits et la fouille de la galerie, d'abord en pierre sèche, puis en terre.

Ce travail a coûté 259.800 francs, dont 52.600 francs pour la tranchée proprement dite, et 107.200 francs pour les opérations de l'asséchement.

Tranchées du chemin Badois.

158. L'exécution de plusieurs tranchées du chemin badois, depuis Schliengen jusqu'à l'extrémité sud de la ligne, présente aussi quelques particularités dignes d'être mentionnées. On a eu sur plusieurs points et notamment à Böllingen, à Barmlach, à

Rheinweiler, à Kems, etc., à traverser un conglomérat calcaire, susceptible de se transformer en une véritable bouillie : on pouvait à la rigueur creuser la tranchée; mais elle ne tardait pas à se combler, et sa disparition était accompagnée de mouvements de terrain qui se propageaient fort loin. Pour l'une de ces tranchées, celle de Grosslochgraben, creusée à mi-côte, on ne trouva rien de mieux à faire que de pousser la fouille jusqu'à la limite du terrain susceptible de devenir coulant : et tout l'excédant de profondeur, variable de $3^m,60$ à $4^m,50$, fut remblayé en pierre cassée. — Mais malgré ce dispendieux travail, malgré la construction d'un énorme mur de soutènement vers la montagne, des mouvements inquiétants se produisirent, et il fallut en venir au moyen qui, appliqué de prime abord, eût peut-être suffi, c'est-à-dire au creusement d'une galerie recueillant les eaux en amont de la tranchée. **Tranchée de Grosslochgraben.**

A la tranchée d'Uffhausen, près de Fribourg, profonde de 18 mètres, il a fallu de même creuser une galerie d'assèchement, donner aux talus une très-grande inclinaison, et en outre les soutenir à la base par des murs de 10 mètres d'épaisseur. **Tranchée d'Uffhausen.**

Aux environs de Kems, les tranchées sont ouvertes dans les largiles du terrain jurassique, très-dures à la fouille pendant les sécheresses, et très-coulantes à la suite des pluies. Des placages en pierre, ou des chemises en terre avec gazonnages ont dû être appliqués partout.

159. Les tranchées du chemin du Palatinat méritent aussi d'être citées; elles n'ont pas offert de difficultés, mais quoique creusées dans le roc, elles ont exigé des travaux de soutènement considérables. Sur $143^k,9$, cette ligne présente un développement total de $9^k,4$ de murs de soutènement dont la hauteur varie de 2 à 14 mètres, et dont le cube s'élève à 66.000^{m3}. ***Tranchées du chemin du Palatinat.***

160. La grande tranchée de Rottberg, entre Giessen et Lollar (chemin du Main au Weser), est creusée dans un terrain très-perméable, divisé par des lits argileux à surfaces ondulées. Le drainage, appliqué aux affleurements de ces lits sur les talus de la tranchée, a suffi pour arrêter de graves indices d'éboulement. — Les lignes de drains s'égouttent, à chaque point bas, dans une rigole disposée suivant la ligne de plus grande pente. ***Application du drainage à la consolidation des tranchées.*** **Chemin du Main au Weser.**

Ce procédé ne diffère que par les détails d'exécution de celui que M. de Sazilly a imaginé et appliqué avec beaucoup de succès. Ce dernier semble même préférable, parce qu'il recueille

complétement l'eau ; et l'isole de l'affleurement argileux, sur lequel un suintement même très-faible exerce une influence pernicieuse. C'est donc à ce regrettable ingénieur qu'il faut reporter tout le mérite d'une méthode destinée à se généraliser, et admise déjà dans la pratique, sous la forme qu'il lui a donnée, comme un remède très-efficace contre une cause fréquente d'éboulements des tranchées.

COMPTE RENDU

DE LA VÉRIFICATION DE QUELQUES ENGRAIS EMPLOYÉS DANS LE DÉPARTEMENT DE SEINE-ET-MARNE.

Par M. MEUGY, ingénieur des mines.

Un arrêté du préfet de Seine-et-Marne, en date du 31 décembre 1852, a prescrit certaines dispositions ayant pour objet d'empêcher la fraude qui paraît s'être introduite dans le commerce des engrais, dont l'extension tend chaque jour à s'accroître dans ce département essentiellement agricole. Aux termes de cet arrêté, tout marchand est tenu de déclarer à la mairie de la commune où est situé son dépôt, la nature de l'engrais mis en vente, le lieu de sa provenance, et le nom et la demeure du fabricant. Des échantillons recueillis par les soins de la police locale sont adressés à Paris pour être analysés.

Jusqu'à présent, ces analyses ont été faites au laboratoire de l'École des mines, et j'en ai été chargé par M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, comme ingénieur du département.

Je dois dire tout d'abord que j'ai envisagé la mission qui m'était confiée comme étant toute d'application, c'est-à-dire, que je ne me suis pas attaché à faire des analyses complètes et à déterminer rigoureusement tous les principes constituants des engrais, mais simplement à faire quelques essais comparatifs pour apprécier leur valeur relative, eu égard aux substances étrangères qu'ils pouvaient renfermer.

Ainsi je ne me suis pas occupé du dosage spécial de l'azote, qui exige des manipulations d'autant plus déli-

cates que sa proportion est souvent très-faible (1), et qui, d'ailleurs, n'était pas absolument indispensable pour la vérification dont il s'agissait.

Au point de vue où je me suis placé, j'ai dû faire usage de procédés simples et expéditifs qui ne sont pas inattaquables, il est vrai, quant à l'exactitude rigoureuse des résultats auxquels ils m'ont conduit, mais qui néanmoins m'ont paru suffisants pour remplir utilement les vues de l'administration.

Les échantillons que j'ai examinés ont été renfermés dans des bocaux étiquetés et numérotés au fur et à mesure qu'ils sont parvenus à l'École. Ils sont au nombre de vingt-neuf, et comprennent six guanos, vingt-deux poudrettes de différentes natures et une cendre noire.

Les quinze premiers ont été reçus en février et mars; les nos 16 et 17 dans le courant d'avril; ceux nos 18, 19 et 20 en juin, et les neuf derniers en août et septembre.

Voici la série des opérations auxquelles je me suis livré :

J'ai commencé par dessécher au bain-marie une certaine quantité d'engrais, afin de déterminer la proportion d'eau qui s'y trouve contenue et qu'il importe de connaître, puisque cette eau n'exerce aucune influence sur son pouvoir productif.

D'un autre côté, j'ai fait brûler une autre partie de l'engrais brut et j'ai obtenu des cendres dont le poids, défalqué de la quantité soumise à l'essai, m'a donné les matières susceptibles de se volatiliser ou de se décomposer par la chaleur.

Enfin, j'ai pris un certain poids de ces cendres que

(1) Elle est de 1 à 2 p. 100 dans les fumiers et les poudrettes ordinaires.

j'ai d'abord épuisées par l'eau bouillante pour rechercher les sels solubles dans l'eau, et le résidu a été ensuite traité par un acide afin de séparer les matières insolubles qui, de même que l'eau, n'ajoutent rien à l'efficacité de l'engrais.

J'ai donc obtenu ainsi : d'une part, les matières volatiles organiques qui, en se putréfiant dans le sol, peuvent fournir aux plantes du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote, et d'autre part, les matières fixes dont j'ai seulement fait l'analyse qualitative, et qui renferment les principes minéraux dont les plantes ont besoin pour se développer.

Dosage de l'eau. — On a pesé 5 grammes de chaque échantillon dans une petite capsule de porcelaine tarée qu'on a maintenue à la température de l'eau bouillante pendant trois à quatre heures consécutives. Lorsqu'on a jugé que la dessiccation était à peu près complète, on a porté la capsule sur la balance à plusieurs reprises jusqu'à ce que son poids restât constant. La perte a donné la quantité d'eau dont l'engrais était imprégné.

Dosage des matières organiques et des cendres. — L'incinération a eu lieu dans une moufle soutenue par quelques briques au-dessus d'un fourneau de calcination, et surmontée d'un cône de tirage. On a opéré sur 20 grammes de matière brute pesés dans une capsule de platine tarée. Cette capsule a d'abord été exposée à une chaleur modérée sur le bord de la moufle pour éviter les pertes qui auraient pu résulter d'un dégagement de gaz trop rapide, puis chauffée successivement jusqu'au rouge en ayant soin de renouveler de temps en temps les surfaces au moyen d'une spatule. Il a fallu trois quarts d'heure à une heure pour que l'incinération fût complète. Le poids des cendres a fait connaître par

différence les matières organiques, déduction faite de l'eau.

Examen des cendres. Dosage des matières solubles dans l'eau. — On a pris 2 grammes de cendres qu'on a traités par l'eau chaude, puis on a filtré et lavé le résidu jusqu'à ce que l'eau de lavage ne précipite plus par l'oxalate d'ammoniaque ou par le nitrate d'argent. Les solutions aqueuses renfermant de la chaux ou de l'acide muriatique, comme on le verra plus loin, l'absence de précipité par les deux réactifs précédents a indiqué la séparation complète des substances solubles. Le résidu a été desséché, puis détaché du filtre avec tout le soin convenable et calciné. Son poids a donné par différence la quantité des matières dissoutes.

Dosage des matières solubles dans l'acide muriatique et des matières inertes. — Le résidu insoluble dans l'eau a été attaqué par l'acide muriatique. On a filtré et lavé jusqu'à ce que l'eau de lavage ne donne plus de précipité avec le nitrate d'argent, et on a pesé le résidu après calcination. Ce dernier constituait les matières inertes, et la perte éprouvée représentait les matières solubles dans l'acide.

Guanos.— Je me suis occupé d'abord de l'analyse des guanos qu'on regarde comme formés d'excréments d'oiseaux de mer. Il en existe des dépôts considérables dans plusieurs îles voisines des côtes du Pérou et du Chili. On en a découvert aussi en Afrique dans les dépendances du cap de Bonne-Espérance et dans quelques autres localités. Les six échantillons que j'ai examinés sont les nos 1, 10, 11, 12, 13 et 14 et portent tous la désignation de guanos du Pérou, à l'exception du no 10 qui est indiqué comme provenant d'Horadura dans les mers du Sud, près des îles Chincha. On remarque dans ce dernier une certaine quantité de sable qui n'existe pas dans les autres échantillons. A part cette différence, tous ces engrais ont des caractères presque identiques. Leur couleur est jaunâtre. Ils déve-

loppent une odeur forte et piquante et ont une saveur salée assez sensible. On y distingue quelques plumes d'oiseaux, de petits grains blancs arrondis qui ne sont autres que du phosphate de chaux et une matière gris blanchâtre souvent imprégnée de parties cristallines qui s'y rencontrent sous forme de veinules ou de concrétions. Quelquefois les cristaux sont assez apparents pour qu'on puisse en reconnaître la forme avec le secours de la loupe. J'ai observé des octaèdres réguliers bien caractérisés par leurs petites facettes triangulaires miroitantes. Ces cristaux dissous dans l'eau donnant un très-volumineux précipité par le nitrate d'argent ne peuvent être que des chlorures, et comme ils présentent une réaction ammoniacale prononcée et que l'octaèdre n'est pas la forme habituelle du sel marin, on doit les considérer comme formés en partie de muriate d'ammoniaque. Les mêmes concrétions cristallines chauffées dans un tube de verre donnent en effet d'abondantes fumées blanches qu'on a pu remarquer aussi pendant l'incinération des guanos.

Ces engrais traités directement par l'eau donnent une solution jaunâtre qui rougit faiblement le papier bleu de Tournesol et qui présente exactement les mêmes caractères que l'urine.

L'acide nitrique les attaque avec une très-vive effervescence due à la décomposition de l'acide urique qui s'y trouve en quantité considérable et qui ajoute à leur richesse en principes azotés. L'acide muriatique au contraire ne produit aucun dégagement de gaz.

La composition des guanos est indiquée par le tableau ci-après :

DÉSIGNATION et provenance.			1. GUANO. M. Martinez, propriétaire à Beauvoir, représenté par M. Sarrazin, à Meaux.	10. GUANO d'Horadura. M. Petit négociant au Havre, représenté par M. Héritte, à Melun.	11. GUANO du Pérou. M. Dupont-Le-Vasseur, négociant au Havre, représenté par M. Héritte, à Melun.	12. GUANO du Pérou. M. Martinez de Beauvoir, représenté par M. Angenout à Melun.	13. GUANO du Pérou. M. Mosneron, armateur au Havre, représenté par M. Collet, à Melun.	14. GUANO du Pérou. M. Bosquet, à Lieusaint.
Matières volatiles.	à 100°	Eau.	16,00	18,00	20,00	16,00	16,00	15,00
	décomposables par la chaleur	Matières organiques, comprenant acide urique et sels ammoniacaux.	50,60	34,90	48,80	51,65	52,60	51,35
Matières fixes (cendres).	solubles dans l'eau.	Acide muriatique. Acide sulfurique. Potasse et soude. Chaux.	5,678 Traces de chaux	8,242	3,276 Traces de chaux	4,69 Traces de chaux	5,495 Traces de chaux	5,215 Traces de chaux
	solubles dans l'acide muriatique.	Acide phosphorique. Chaux. Magnésie.	26,72 } 33,40 Cendres blanches	22,844 } 47,10 Cendres blanches un peu jaunâtr.	26,988 } 31,20 Cendres blanches	26,85 } 32,35 Cendres blanch-s	25,12 } 31,40 Cendres blanches	27,594 } 33,65 Cendres blanches
	insolubles.	Argile. Sable. Gravier.	1,002 Sable et argile.	16,014 Gravier, sable et argile.	0,936 Argile.	0,81 Argile.	0,785 Argile.	0,841 Argile.
Totaux.			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Les échantillons n°s 1, 11, 12, 13, 14, renferment, comme on le voit, 17 p. 100 d'eau environ, 50 p. 100 de matières organiques et 33 p. 100 de cendres dont 5 de sels solubles dans l'eau, 27 p. 100 de sels solubles dans l'acide muriatique et 1 p. 100 seulement de matières inertes argileuses et sableuses. Il y a donc dans ces guanos une proportion considérable de substances utiles à la végétation (82 p. 100) qui suffit pour rendre compte de leur énergie. L'échantillon n° 10 n'est pas aussi riche, comme on pouvait le prévoir d'après le résultat de l'examen comparatif qui a été fait de ces engrais. Le résidu insoluble de ce dernier qui s'élève à 16 p. 100 de son poids consiste en un sable graveleux dans lequel on remarque quelques lamelles brillantes de mica blanc et qui paraît renfermer en outre de l'amphibole et du quartz. La gangue du guano n° 10 serait donc un détritus de roches anciennes qui existent sans doute dans le voisinage de son gisement.

Les cendres provenant de la combustion des guanos sont parfaitement blanches, excepté celles du n° 10 qui sont un peu mélangées de jaunâtre.

Les solutions aqueuses de ces cendres ne sont aucunement troublées par l'ammoniaque, et l'oxalate d'ammoniaque n'y décèle que très-peu de chaux; mais elles sont toutes précipitées abondamment par le nitrate de baryte et par le nitrate d'argent. Elles ne renferment pas trace d'acide phosphorique. Les sels qui s'y trouvent dissous ne sont donc que des muriates et des sulfates alcalins. J'ai d'ailleurs constaté la présence de la potasse et de la soude; car en versant du chloride de platine, il se forme un précipité jaune (chloroplatinate de potasse), et si l'on ajoute de l'alcool et qu'on l'allume, la flamme prend une coloration jaune caractéristique de la soude.

Il n'y a pas trace d'acide sulfurique dans les liqueurs muriatiques qui ne contiennent que de la chaux, de la magnésie et de l'acide phosphorique.

Les guanos se vendent à Melun 30 francs les 100 kilog., et pèsent 70 à 80 kilog. l'hectolitre. On en consomme environ 350 kilog. par hectare. Le prix de celui d'Horadura déduit de sa teneur en principes actifs ne devrait être que de 25 francs pour être en rapport avec celui des guanos du Pérou.

Poudrettes. — Si la composition des guanos est à peu près constante, il est loin d'en être de même des poudrettes, comme on peut en juger par le tableau qui suit :

DÉSIGNATION et provenance.		2. POUDRETTE animalisée. Foucaud, à Paris. (a)	3. POUDRETTE. Auberger, à Melun. (b)	4. POUDRETTE n° 1. Fourlon, à Choisy-le-Roi. (c)	5. POUDRETTE n° 2. Fourlon, à Choisy-le-Roi. (d)	6. POUDRETTE [illegible] (d)
Matières volatiles. à 100°.	Eau	14,60	52,40	42,80	33,00	47,00
Matières volatiles. Décomposables par la chaleur.	Matières organiques comprenant des sels ammoniacaux, des parties végétales, etc.	31,00	34,40 dont 20,80 de charbon de bois.	23,45	32,90	25,80
Matières fixes (cendres). Solubles dans l'eau.	Acide muriatique. — sulfurique. Alcalis. Chaux.	19,85	2,05	2,70 Traces d'acide muriatique.	3,07 Traces d'acide muriatique.	3,54 Traces d'acide muriatique.
Matières fixes (cendres). Solubles dans l'acide muriatique.	Acide carbonique. — phosphorique. — sulfurique. Silice. Chaux. Magnésie. Alumine. Oxydes de fer et de manganèse.	14,42 Pas d'acide phosphoriq.	4,22	9,62	9,89	11,96
Matières fixes (cendres). Insolubles.	Argile et sable.	20,13	6,93	21,43	21,14	11,70
	Cendres (total des matières fixes)	Cendres rougeâtres. 54,40	Cendres gris jaunâtre 13,20	Cendres grises mêlées de blanc et de jaunâtre 33,75	Cendres grises. 34,10	Cendres grises. 27,20
	Totaux.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

DÉSIGNATION et provenance.		18. POUDRETTE. Duplessis, à Puteaux. (f)	19. POUDRETTE de Montfaucon et Bondy. Comp. Richer, à Paris. (f)	20. POUDRETTE de Bondy. Fournier et Lavaux, à Meaux. (f)	21. POUDRETTE de Montfaucon et Bondy. Comp. Richer, à Paris. (f)	22. POUDRETTE [illegible] (f)
Matières volatiles. à 100°.	Eau	7,00	8,80	7,00	12,80	11,50
Matières volatiles. Décomposables par la chaleur.	Matières organiques comprenant des sels ammoniacaux, des parties végétales, etc.	34,50	33,45	31,75	32,95	32,50
Matières fixes (cendres). Solubles dans l'eau.	Acide muriatique. — sulfurique. Alcalis. Chaux.	9,07 Traces d'acide muriatique.	10,40 Traces d'acide muriatique.	12,56 Traces d'acide muriatique.	10,85 Traces d'acide muriatique.	7,24 Traces d'acide muriatique.
Matières fixes (cendres). Solubles dans l'acide muriatique.	Acide carbonique. — phosphorique. — sulfurique. Silice. Chaux. Magnésie. Alumine. Oxydes de fer et de manganèse.	16,38	21,37	19,60	21,70	19,22
Matières fixes (cendres). Insolubles.	Argile et sable.	33,05	25,98	29,09	21.70	29,24
	Cendres (total des matières fixes)	Cendres grises. 58,50	Cendres grises. 57,75	Cendres grises. 61,25	Cendres grises. 54,25	[illegible] 56,[illegible]
	Totaux.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

POUDRETTE. Vallet, …geur à Melun. (e)	8. POUDRETTE. La Bassé, vidangeur à Melun. (c)	9. POUDRETTE animalisée. Encontre, à la Chapelle. (a)	15. POUDRETTE animale. Belleuvre, à Villejuif. (a')	16. ENGRAIS Sussex. La compagnie Javel. (a)	17. ENGRAIS. Garré, à Montereau. (a)
…1,60	41,60	18,00	30,60	8,40	7,20
…2,70	23,90	29,00	28,75	34,10	34,80
1,06 …	4,31 Traces d'acide muriatique.	18,55	7,72 Traces d'acide muriatique.	20,12	20,01
6,28 } Cendres grises. 15,70	11,22 } Cendres grises. 34,50	14,31 Pas d'acide phosphorique. } Cendres rougeâtres. 53,00	11,59 Pas d'acide phosphorique. } Cendres grises un peu jaunâtres. 40,65	16,10 Pas d'acide phosphorique. } Cendres gris jaunâtre. 57,50	14,79 } Cendres grises un peu jaunâtres. 58,00
1,46	18,97	20,14	21,34	21,28	23,20
…,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

POUDRETTE. Garré, Montereau. (f)	25. POUDRETTE animalisée. Brulefer, à Provins. (f')	26. POUDRETTE de Montfaucon et Bondy. Payen, à Brie-Comte-Robert. (f)	27. POUDRETTE. Buisson jeune, à Fontainebleau. (c)	28. POUDRETTE. Buisson père, à Fontainebleau. (c)	29. POUDRETTE Potton, à Courbevoie. (c)
…,00	17,00	13,60	21,40	24,00	34,40
…,00	32,00	30,60	25,70	23,00	28,35
…,12 …	4,08 Pas traces d'acide muriatique.	12,26 Traces d'acide muriatique.	6,08 Traces d'acide muriatique.	5,30 Traces d'acide muriatique.	4,47 Traces d'acide muriatique.
…,08 } Cendres grises. 55,00	14,54 } Cendres gris jaunâtre. 51,00	21,22 } Cendres grises. 55,80	14,29 } Cendres grises. 52,90	9,01 } Cendres grises 53,00	10,78 } Cendres grises. 37,25
…,80	32,38	22,32	32,53	3 ,69	22,00
…,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

(2) *Poudrette animalisée.* (M. Foucaud, boulevard Montmartre, 8, à Paris, représenté par M. Kiénig à Meaux.) — En poudre grisâtre; odeur fétide; renferme quelques débris végétaux, de petits fragments blancs de carbonate de chaux qui font effervescence avec les acides et dont la solution précipite abondamment par l'oxalate d'ammoniaque. Si on lave une partie de la matière et qu'on incinère le résidu après décantation, on voit très-bien dans les cendres des grains de sable plus ou moins gros et des fragments schisteux grisâtres, qui se brisent facilement sous une pointe d'acier. L'expression de poudrette animalisée paraît constituer un pléonasme puisque le mot *poudrette* emporte lui-même la signification d'une matière animalisée.

(3) *Poudrette.* (M. Auberger, représenté par M. Laroche à Melun.) — Aspect noirâtre, sans odeur sensible. L'échantillon est très-léger et composé en partie de charbon de bois et de déchets de laine de différentes couleurs. Ce n'est pas une poudrette dans le sens que l'on attribue généralement à ce mot. Ce n'est pas non plus du charbon de bois sans mélange d'autres substances puisque le charbon ne renferme pas en moyenne plus de 3 p. 100 de cendres. Ce serait, si l'on veut, une poudrette désinfectée au moyen du charbon de bois. D'ailleurs il est à remarquer que c'est dans le n° 3 qu'il y a le moins de cendres et cette circonstance tient évidemment à la grande quantité de charbon qui s'y trouve mélangée. 10 grammes de matières calcinées en vase clos laissent un résidu pesant 3g,35, soit 33,50 p. 100 de charbon et cendres. D'où charbon = 33,50 — 13,20 = 20,30. En séparant avec soin les fragments de charbon dans la matière desséchée, on trouve qu'ils constituent les 0,40 du poids total, soit : 0,40 (13,20 + 34,40) = 18,04. J'avais encore un autre moyen de connaître approximativement la quantité de charbon mélangée à cet engrais en remarquant que les matières organiques se trouvent en excès par rapport aux cendres dans le n° 3, contrairement à ce qui a lieu dans la plupart des poudrettes. En admettant que la quantité de ces matières, défalcation faite du charbon, fût égale à celle des cendres qui est de 13,20, il restait pour le charbon 34,40 — 13,20 ou 21,20.

(4) *Poudrette n° 1.* (M. Fourlon à Choisy-le-Roi, représenté par M. Courtellemont à Melun.) — Aspect noirâtre du terreau,

sans odeur. On y remarque des débris végétaux, de petits cailloux de silex, du carbonate de chaux caverneux, des noyaux de fruits, des pépins, des cheveux, etc. La matière est mélangée intimement de petits grains de sable quartzeux translucides qu'on sent craquer sous le pilon dans le mortier d'agathe et qu'on peut mettre en évidence par un lavage suivi de la combustion du résidu.

(5) *Poudrette n° 2.* (Même origine que le n° 4.) — Couleur brune, sans odeur; contient comme la précédente des grains de sable en mélange intime, des parties végétales, etc. On y distingue en outre un peu de charbon de bois et une terre jaunâtre qui ressemble à de l'argile.

(6) *Poudrette.* (M. Nollot, vidangeur à Melun.) — Matière brune assez compacte et humide; sans odeur marquée; analogue au n° 5. On y observe aussi quelques fragments d'os et une substance blanche qui ne donne qu'une légère effervescence avec l'acide muriatique. Il se trouve dans cet échantillon une *hélice* dont la présence ne peut guère s'expliquer que par l'introduction d'une certaine quantité de limon dans les produits des fosses d'aisance.

(7) *Poudrette.* (M. Vallet, vidangeur à Melun.) — En grumeaux noirâtres et très-humides qui dégagent une forte odeur d'hydrogène sulfuré et ont tout à fait l'aspect de matières fécales telles qu'elles sont extraites des fosses. Elle est préférée par les cultivateurs aux autres poudrettes de la même localité.

(8) *Poudrette.* (M. Labassé, vidangeur à Melun.) — Couleur brun chocolat foncé; analogue au n° 4. On y remarque une assez grande quantité de débris végétaux, des fragments d'os et du gravier à galets quartzeux et calcaires. Elle coûte 7 francs l'hectolitre et demi à Melun. On en consomme environ 23 hectolitres par hectare.

(9) *Poudrette animalisée.* (M. Encontre, à la Chapelle-Saint-Denis, représenté par madame veuve Dieuset à Melun.) — Semblable au n° 2; renferme du plâtre, des fragments de silex, etc.; elle se vend 6f,50 à 7 francs l'hectolitre et demi pesant 125 kilogrammes. On l'emploie à la dose de 10 à 12 hectolitres par arpent de 42 ares 20 centiares.

(15) *Poudrette animale.* (M. Belleuvre à Villejuif, représenté

par M. Servais Chapelle, à Brie-Comte-Robert.) — En masse compacte de couleur grisâtre; odeur pénétrante; fabriquée avec les résidus des fonderies de suif. On y voit des parties végétales et des grains de quartz. Exposée au feu, la matière se boursoufle et s'enflamme.

(16) *Engrais Sussex.* (La compagnie Javel, représentée par M. Hardy, à Melun.). — Aspect analogue à celui des n°s 2 et 9; odeur fétide. On y trouve un peu de charbon de bois et de petits fragments noirs à éclat résineux qui donnent en brûlant une très-mauvaise odeur et qui paraissent provenir de débris animaux; mêmes boursouflements que le n° 15, au commencement de l'incinération.

(17) *Engrais* (sans autre qualification). — (M. Garré, à Montereau.) Semblable à l'échantillon précédent. Il paraît renfermer aussi des escarbilles de coke et d'assez gros fragments calcaires. La matière se boursoufle avec flamme pendant l'incinération.

(18) *Poudrette.* (M. Duplessis, à Puteaux, représenté par M. Mignot, à Brie-Comte-Robert.) — En petits grumeaux de couleur grisâtre; ne ressemble à aucun des engrais précédents. Pas d'odeur sensible. Des parties végétales, des fragments de quartz, de carbonate de chaux, des débris de poteries, des clous, des noyaux, des pépins, etc., s'y trouvent mélangés. Il y entre aussi un peu de charbon de bois.

(19) *Poudrette des voiries de Montfaucon et de Bondy.* (Compagnie Richer, boulevard Montmartre, 4, à Paris, représentée par M. Mariette, à Melun.) — Semblable au n° 18; mais paraît contenir moins de matières étrangères. On y distingue des os et quelques fragments de charbon de bois et de coke. Son prix est de 4 francs l'hectolitre pèsant 85 kilogrammes. La dose la plus habituelle est de 1.700 kilogrammes ou 20 hectolitres par hectare.

(20) *Poudrette de la voirie de Bondy* (MM. Fournier et Lavaux à Meaux). — Paraît semblable à la précédente. On y voit un peu plus de matières végétales, du charbon de bois et de petites parcelles de houille qui brûlent avec flamme en donnant un coke boursouflé.

(21) *Poudrette de Montfaucon et de Bondy* (Compagnie Richer représentée par M. Blondelot, marchand de plâtre à Ne-

mours). — Ressemble aux n[os] 18, 19 et 20; renferme aussi du carbonate de chaux et des fragments de houille qui s'enflamment au feu en se boursouflant.

(22) *Poudrette* (M. Blondelot, vidangeur à Provins). — Idem. On y observe des débris végétaux assez nombreux, de la paille, des os, et un peu de charbon de bois.

(23) *Poudrette* (Garré à Montereau, représentant de M. Canteloup). — En grumeaux d'un gris un peu plus clair que les précédentes; on n'y remarque presque pas de débris végétaux, mais la matière est intimement mélangée de parties blanches qui font effervescence avec l'acide muriatique.

(25) *Poudrette animalisée* (Brulefer à Provins). — Matière grise en décomposition dans laquelle on distingue à la loupe une fourmilière d'animalcules. Il s'y trouve des débris de verre, de la paille, des fragments calcaires et des parties argileuses d'un gris jaunâtre.

(26) *Poudrette de Montfaucon et de Bondy* (M. Polydor Payen, à Brie-Comte-Robert). — En grumeaux de couleur grisâtre comme les n[os] 18, 19, 20, etc. Débris végétaux et parties calcaires en petite quantité.

(27) *Poudrette* (M. François Frédéric Buisson, entrepreneur à Fontainebleau). — Couleur brune; analogue aux n[os] 4 et 8; renferme un peu de charbon de bois.

(28) *Poudrette* (M. François Buisson père, à Fontainebleau). — Semblable à la précédente.

(29) *Poudrette* (M. Potton, à Courbevoie, représenté par M. Dubuisson à Melun). — D'un brun un peu plus foncé que les n[os] 27 et 28.

Ce qui frappe tout d'abord lorsqu'on jette un coup d'œil sur le tableau précédent, c'est la diversité de composition que présentent ces divers engrais auxquels on applique cependant la même dénomination de *poudrette*. J'ai indiqué par les lettres (*a*, *b*, *c*, etc.) ceux qui ont entre eux le plus d'analogie d'aspect et de composition. Tous ces engrais peuvent être divisés en deux catégories bien distinctes : l'une comprenant les poudrettes proprement dites formées de matières fécales plus ou moins mélangées de corps étrangers; l'autre les engrais de différentes natures qui portent les noms de *poudrette animalisée*, *engrais Sussex*, *etc.* Ces derniers sont désignés par la lettre *a*;

ils sont généralement en poudre assez fine de couleur grise ou gris verdâtre. Le n° 15 seul est en masse compacte, mais de même couleur que les autres échantillons (*a*) et il développe comme ces derniers une odeur fétide et nauséabonde. Je l'ai indiqué par *a'* parce qu'il diffère un peu par sa composition de ceux de la même catégorie qui, ramenés à renfermer la même quantité d'eau, sont comme on peut s'en assurer, pour ainsi dire identiques. La plupart de ces engrais proviennent de résidus de fonderies de suif ou ne sont autres que du sang mélangé à du plâtre ou à des schistes. On sait que les fabricants de chandelles purifient le suif brut au moyen de l'acide sulfurique qui dissout les tissus membraneux incorporés à la graisse. Les résidus qui servent de base à l'engrais renferment donc un excès d'acide qui réagit sur les os dont ces résidus sont mélangés en donnant lieu à du sulfate de chaux et à un phosphate acide soluble dans l'eau. Les autres engrais (*a*) sont fabriqués avec le sang des animaux que l'on chauffe préalablement à la température de l'eau bouillante. La partie coagulée qui surnage renferme l'albumine, la fibrine et les globules du sang. On l'enlève avec une large écumoire, on la mélange avec une certaine quantité de plâtre (trois fois son poids au moins) et on dessèche le tout au moyen d'un courant d'air chaud. L'engrais renferme ainsi tous les principes azotés du sang; mais il est privé des sels minéraux qui restent dans le liquide avec de la graisse en suspension. Le sang ne renferme d'ailleurs que très-peu de sels dont la proportion n'excède pas 1 p. 100 de son poids. Il n'est pas étonnant d'après cela, que les engrais (*a*) ne contiennent pas d'acide phosphorique (1). Mais on y trouve beaucoup de sulfate de chaux, et comme ce sel ne se dissout que dans 500 parties d'eau, le lavage des cendres exige un assez long temps. Il se précipite lorsqu'on concentre la liqueur ou qu'on y ajoute de l'alcool. Les mêmes cendres renferment aussi de l'acide muriatique, mais en quantité beaucoup moins considérable que l'acide sulfurique. J'y ai constaté aussi la présence des alkalis, de la magnésie, de l'alumine, des oxydes de fer et de manganèse, de la silice et de l'acide carbonique.

(1) Le n° 17 seul fait exception. Encore cet acide n'y entre-t-il qu'en très-petite quantité.

les poudrettes contrairement aux engrais (*a*) présentent des différences très-marquées. Elles sont indiquées par les lettres (*b*, *c*, *d*, *e*, *f*). La poudrette (*b*) renferme, comme nous l'avons dit, une forte proportion de charbon de bois. L'échantillon (*e*) peut être considéré comme de la matière fécale pure. Ceux désignés par les lettres (*c*) et (*d*) sont d'un brun plus ou moins foncé qui rappelle la couleur de la tourbe et du terreau. Enfin, les poudrettes (*f*) sont en grumeaux de couleur grise qui caractérisent les produits des voiries de Montfaucon et de Bondy.

Tous ces engrais contiennent les mêmes éléments que les engrais (*a*), plus de l'acide phosphorique en quantité plus ou moins notable; mais je n'y ai trouvé que des traces d'acide muriatique. Les solutions aqueuses provenant du traitement des cendres par l'eau, renfermaient une certaine quantité de chaux caustique due à une décomposition partielle du calcaire existant dans les engrais. En effet, ces liqueurs se sont troublées au bout de quelque temps par suite de l'absorption de l'acide carbonique de l'air et ont laissé déposer une poudre cristalline de carbonate de chaux. Elles donnaient d'abord avec le nitrate d'argent un précipité d'oxyde d'argent soluble dans l'acide nitrique, lequel a cessé de se produire après le dépôt de la chaux à l'état de carbonate.

J'ai reconnu l'existence de l'acide phosphorique dans les liqueurs acides au moyen de l'acétate de soude et du chlorure de fer, réactifs qui donnent lieu à du phosphate de fer insoluble dans l'acide acétique. Le précipité qui se forme alors est floconneux et d'un blanc jaunâtre. Comme toutes les liqueurs renfermaient une petite quantité de fer, l'acétate de soude seul a suffi pour déterminer le précipité dont le volume était susceptible d'augmenter par l'addition de quelques gouttes ferriques (1). L'acide phosphorique jouant un rôle important dans

(1) Il est facile de s'assurer que lorsqu'une liqueur renferme de l'acide phosphorique et très-peu de fer, l'acétate de soude produit toujours un précipité qui cesse d'avoir lieu quand le fer se trouve en assez grand excès par rapport à l'acide phosphorique. Dans ce second cas, l'acétate alkalin colore la solution en rouge foncé, et celle-ci soumise à l'ébullition laisse déposer du peroxyde de fer qui entraîne avec lui l'acide phosphorique. Il

la végétation, j'ai jugé utile de me rendre compte de sa proportion dans quelques engrais. J'en ai trouvé 3,65 p. 100 dans le n° 25 (1), 4 p. 100 dans le n° 26 et 5,66 p. 100 dans le n° 27.

J'ai aussi dosé la silice dans la poudrette n° 21 et je n'en ai pas trouvé 1/2 p. 100 (0,41). Cette quantité qui paraît minime, suffirait néanmoins pour alimenter plusieurs récoltes en supposant que la silice soluble ne pût être offerte aux plantes par le sol lui-même. En effet, la dose de poudrette employée le plus ordinairement étant de 17 kilogramme par are, renferme au titre de 0,41, 6k,97 de silice. Or la même surface de terrain produisant 20 kilogrammes de blé et 45 kilogrammes de paille, comme le grain de blé laisse 1 p. 100 de cendres renfermant seulement 0, 0033 de silice et que la paille en laisse 5 p. 100 à 0,72, il en résulte qu'une récolte de blé enlève seulement 1k,62 de silice à une are de terre. Mais la silice ne peut devenir soluble que petit à petit; et c'est ce qui explique comment les blés peuvent verser si cet élément n'est pas fourni sous forme assimilable proportionnellement aux matières organiques.

Cendres noires. On n'a fait qu'un seul envoi de cette espèce d'engrais ou d'amendement minéral qui diffère complétement des autres échantillons par son origine. Il porte le n° 24 et a été fourni par M. Percheron à Montereau sous le nom de *cendre minérale noire*. Voici sa composition :

---

faut alors redissoudre le précipité et doser l'acide phosphorique à l'état de phosphate magnésien, ce qui donne lieu à des opérations assez longues. On pourrait peut-être simplifier beaucoup l'analyse en dosant toujours l'acide phosphorique à l'état de phosphate de fer blanc jaunâtre. Il suffirait pour cela d'ajouter préalablement à la liqueur une dissolution titrée de phosphate de soude, de manière à ce que l'acide phosphorique fût toujours en excès relativement au fer.

(1) La qualification de *poudrette animalisée* qu'on donne habituellement aux engrais fabriqués avec le sang des animaux me fait penser que le sang est en effet une des bases du n° 25. On comprend alors que cet échantillon contienne moins d'acide phosphorique que les poudrettes de même catégorie. Car on a vu que les engrais de sang proprement dits tels que les nos 2 et 9 ne renferment pas trace d'acide phosphorique.

	Eau.	17,00	
	Matières organiques.	44,77	Dont 14,37 de charbon et 8,55 de soufre provenant des pyrites (1).
Cendres rouges, 41,35	Matières solubles dans l'eau.	4,14	(Acide sulfurique, alcalis et chaux.)
	Matières solubles dans l'acide muriatique.	14,06	(Alumine et oxyde de fer). Traces d'acide sulfurique, d'acide carbonique, de silice et de chaux.
	Matières insolubles.	23,15	(Sable et argile).
	Total..	103,12	

Cette cendre est extraite à Mennessy, à 2 lieues nord-ouest de La Fère dans les sables tertiaires inférieurs. Elle est très-pyriteuse et tout à fait semblable à celle que l'on consomme en grande quantité dans le département de l'Aisne, soit pour l'amendement des terres, soit pour la fabrication de la couperose et de l'alun. On y découvre de petites parties calcaires blanchâtres qui se dissolvent avec effervescence dans l'acide muriatique. J'y ai reconnu 15,83 de pyrites de fer et 14,37 de charbon.

La combustion de cette matière a eu pour effet de décomposer les pyrites et d'amener le fer à l'état de peroxyde; aussi ai-je obtenu des cendres rouges qui renferment la quantité d'oxigène absorbée par le fer, laquelle est égale à 3,12. C'est ce qui explique l'excédant porté au total.

Les cendres noires agissent principalement par leurs pyrites qui, en s'effleurissant à l'air, décomposent le calcaire du terrain en donnant lieu à du sulfate de chaux. Elles conviennent donc surtout pour la fertilisation des prairies artificielles. La proportion la plus convenable à employer est de 20 à 25 hectolitres par hectare dont une moitié doit être semée avant l'hiver et l'autre moitié au printemps par un temps sec. Ces cendres ne coûtent sur place que 0f,50 l'hectolitre. Elles contiennent à l'état sec 0,71 p. 100 d'azote d'après MM. Boussingault et Payen.

Les analyses dont les résultats sont rapportés dans les pages précédentes sont loin d'être complètes. Pour qu'elles ne laissassent rien à désirer, il aurait fallu non-seulement doser l'azote, mais encore les autres corps simples, tels que le chlore, le soufre, le phosphore, qui font aussi partie des engrais et qui exercent une action plus ou moins importante sur la végétation.

(1) La cendre noire contient donc 21,85 p. 100 de matières volatiles indépendamment du charbon et du soufre.

Néanmoins, si les données qui résultent de ces analyses ne permettent pas de déterminer avec précision l'efficacité absolue de chacun des engrais, elles suffiront, j'espère, pour qu'on puisse juger approximativement de leur valeur relative.

Les chimistes qui se sont occupés jusqu'ici de ces sortes d'analyses, se sont surtout attachés au dosage de l'azote ; mais bien que cet élément soit un de ceux qui intéressent spécialement l'agriculture, les autres corps simples que je viens de nommer jouent aussi un rôle qui ne peut être contesté puisqu'ils entrent dans les cendres des plantes, d'où il suit, que la richesse d'un engrais ne peut être considérée avec exactitude comme uniquement proportionnelle à la teneur en azote.

Le sang liquide des abattoirs renferme suivant MM. Boussingault et Payen, 2,945 p. 100 d'azote et le sang coagulé sortant de la presse 4,514. L'engrais résultant du mélange du sang dans ce dernier état avec trois fois son poids de plâtre n'en contiendrait donc plus que 1,13.

Il y a de 1,50 à 2 p. 100 d'azote dans la poudrette de Bondy.

On en a trouvé dans les guanos de 5 à 15 p. 100. Cette variation peut tenir, soit à l'origine différente des échantillons analysés soit à la transformation, sous l'influence de l'humidité, de la chaleur et des matières organiques, d'une partie de l'urate d'ammoniaque en carbonate dont la volatilité est très-grande.

J'ai aussi une observation à présenter relativement au dosage des cendres. En incinérant les engrais à la chaleur rouge, je n'ai pu éviter la décomposition d'une certaine quantité de carbonate de chaux et la transformation en sulfures d'une partie des sulfates alkalins et terreux qui s'y trouvent intimement associés. De là, deux causes d'erreur résultant de la présence de la chaux caustique dans les solutions aqueuses des cendres et de la formation d'un sulfure de calcium qui, étant presque insoluble dans l'eau, est resté sur le filtre et a dû passer à l'état de sulfate pendant la calcination du résidu. C'est ce qui explique pourquoi j'ai trouvé de l'acide sulfurique dans les liqueurs muriatiques. On aurait pu remédier à cette seconde cause d'erreur en lavant une deuxième fois le résidu grillé. Quant à la première, j'ai essayé de la faire disparaître en humectant et calcinant les cendres à une chaleur modérée avec une dissolution de carbonate d'ammoniaque qui devait saturer la

chaux caustique (1). Mais je n'ai obtenu ainsi qu'un excédant presque insensible représentant l'acide carbonique dégagé pendant l'incinération.

On pouvait s'attendre à ce résultat, puisque la plupart des solutions aqueuses n'ont laissé précipiter que des traces de chaux à l'état de carbonate.

Si l'on comparait les engrais analysés, eu égard aux quantités de matières organiques qu'ils renferment, pour apprécier leur valeur relative à poids égal, on les classerait ainsi qu'il suit :

		A.	Matières organiques.
1°		n° 13.	52,60
		n° 12.	51,65
		n° 14.	51,35
		n° 1.	50,60
2°		n° 11.	48,80
3°		n° 10.	34,90
4°	(a)	n° 17	34,80
	(f)	n° 18.	34,50
	(a)	n° 16.	34,10
	(f)	n° 23.	34,00
5°	(f)	n° 19.	33,45
6°	(f)	n° 21.	32,95
	(d)	n° 5.	32,90
	(f)	n° 22.	32,50
	(f)	n° 25.	32,00

		A.	Matières organiques.
7°	(f)	n° 20.	31,75
	(a)	n° 2.	31,00
8°	(f)	n° 26.	30,60
9°	(a)	n° 9.	29,00
10°	(a')	n° 15.	28,75
	(e)	n° 29.	28,35
11°	(d)	n° 6.	25,80
	(c)	n° 27.	25,70
12°	(c)	n° 8.	23,90
	(c)	n° 4.	23,45
	(c)	n° 28.	23,00
13°	(e)	n° 7.	22,70
14°	(b)	n° 3.	14,10

En ayant égard aux matières solubles en même temps qu'aux matières organiques, on obtiendrait un classement un peu différent :

		B.	Mat. solubles jointes aux mat. organ.
1°		n° 14.	84,159
2°		n° 12.	83,19
		n° 13.	83,215
3°		n° 1.	82,998
4°		n° 11.	79,064
5°	(a)	n° 16.	70,32
6°	(a)	n° 17.	69,60
	(f)	n° 23.	69,20
7°		n° 10.	65,986
	(f)	n° 21.	65,50
	(a)	n° 2.	65,27
	(f)	n° 19.	65,22
8°	(f)	n° 26.	64,08
9°	(f)	n° 20.	63,91
10°	(a)	n° 9.	61,86

		B.	Mat. solubles jointes aux mat. organ.
11°	(f)	n° 18.	59,95
12°	(f)	n° 22.	58,96
13°	(f')	n° 25.	50,62
14°	(a')	n° 15.	48,06
15°	(c)	n° 27.	46,07
16°	(d)	n° 5.	45,86
17°	(c)	n° 29.	43,60
18°	(d)	n° 6.	41,30
19°	(b)	n° 3.	40,67
20°	(c)	n° 8.	39,43
21°	(c)	n° 28.	37,31
22°	(c)	n° 4.	35,77
23°	(e)	n° 7.	30,94

(1) Il faut se garder de se servir pour cet objet de carbonate d'ammoniaque en poudre si l'on veut éviter des projections et des pertes de matière.

Nous avons tenu compte pour ces classements de l'eau d'imbibition, et en effet la valeur d'un poids donné d'engrais doit être nécessairement en raison inverse de la proportion d'eau qui s'y trouve contenue. Mais cette proportion variant dans des limites très-étendues (7 à 60 p. 100), on peut se proposer d'en faire abstraction, en comparant les engrais indépendamment de l'eau qu'ils renferment; on a ainsi l'avantage de partir d'une base plus certaine et de pouvoir examiner les mêmes matières au point de vue des quantités relatives de substances insolubles qui peuvent y exister en mélange. Il suffit pour cela de les supposer desséchées au même point ou ramenées au même degré d'hydratation (1).

En admettant 20 p. 100 d'eau dans tous les échantillons, on aurait pour la composition des guanos :

---

(1) Les agronomes considèrent généralement le poids des matières organiques comme représentant une égale quantité de fumier, de sorte que quand un engrais donne, après sa dessiccation préalable, 30 p. 100 de matières organiques, on conclut qu'il agira en terre comme trente parties de fumier sec.

GUANOS.		N° 1	N° 10	N° 11	N° 12	N° 13	N° 14
Eau		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Matières organiques		48,19	34,05	48,80	49,19	50,10	48,33
Cendres.	Matières solubles dans l'eau	5,408	8,041	3,276	4,47	5,233	4,91
	Matières solubles dans l'acide muriatique	25,45	22,287	26,988	25,58	23,92	25,97
	Matières insolubles	0,952	15,627	0,936	0,76	0,747	0,79
Totaux		100	100	100	100	100	100

Et pour celle des poudrettes :

POUDRETTES et engrais divers.		N° 2 (a)	N° 3 (b)	N° 4 (c)	N° 5 (d)	N° 6 (d)	N° 7 (e)	N° 8 (c)	N° 9 (a)	N° 15 (a')	N° 16 (a)	N° 17 (a)
Eau		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Matières organiques		29,04	57,81 charb., 34,30	32,79	39,28	38,94	47,29	32,73	28,29	33,14	29,79	30,01
Cendres.	Matières solubles dans l'eau	18,60	3,44	3,77	3,67	5,34	4,08	5,90	18,10	8,90	17,57	17,25
	Mat. solub. dans l'acide muriat.	13,51	7,09	13,45	11,91	18,05	13,08	15,36	13,96	13,36	14,07	12,75
	Matières insolubles	18,85	11,66	29,99	25,14	17,67	15,55	26,01	19,65	24,60	18,57	19,99
Totaux		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

POUDRETTES et engrais divers.		N° 18 (f)	N° 19 (f)	N° 20 (f)	N° 21 (f)	N° 22 (f)	N° 23 (f)	N° 25 (f')	N° 26 (f)	N° 27 (c)	N° 28 (c)	N° 29 (c)
Eau		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Matières organiques		29,68	29,35	27,32	30,23	29,48	30,56	30,85	28,33	26,16	24,21	34,57
Cendres.	Matières solubles dans l'eau	7,80	9,12	10,81	9,95	6,57	23,48	3,93	11,35	6,19	5,58	5,45
	Mat. solub. dans l'acide muriat.	14,09	18,75	16,86	19,91	17,44	8,16	14,01	19,65	14,54	9,48	13,14
	Matières insolubles	28,43	22,78	25,01	19,91	26,51	17,80	31,21	20,67	33,11	40,78	26,84
Totaux		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

On déduirait de la composition des engrais ainsi modifiés deux nouveaux classements qui seraient les suivants :

A′.			Matières organiques.
1°		n° 13.	50,10
2°		n° 12.	49,19
3°		n° 11.	48,80
		n° 14.	48,33
		n° 1.	48,19
4°	(e)	n° 7.	47,29
5°	(d)	n° 5.	39,28
6°	(d)	n° 6.	38,94
7°	(c)	n° 29.	34,57
		n° 10.	34,05
8°	(a′)	n° 15.	33,14
9°	(c)	n° 4.	32,79
	(c)	n° 8.	32,78
10°	(f′)	n° 25.	30,85
	(f)	n° 23.	30,56
	(f)	n° 21.	30,23
	(a)	n° 17.	30,01
11°	(a)	n° 16.	29,79
	(f)	n° 18.	29,68
	(f)	n° 22.	29,48
	(f)	n° 19.	29,35
	(a)	n° 2.	29,04
12	(f)	n° 26.	28,33
	(a)	n° 9.	28,29
13°	(f)	n° 20.	27,32
14°	(c)	n° 27.	26,16
15°	(c)	n° 28.	24,21
16°	(c)	n° 3.	24,51

B′.			Mat. insolubles ou inertes.
1°		n° 13.	0,747
		n° 12.	0,76
		n° 14.	0,79
2°		n° 11.	0,936
		n° 1.	0,952
3°	(b)	n° 3 (1). . .	11,66
4°	(e)	n° 7.	15,55
		n° 10.	15,622
5°	(d)	n° 6.	17,67
	(f)	n° 23.	17,80
6°	(a)	n° 16.	18,57
	(a)	n° 2.	18,85
7°	(a)	n° 9.	19,65
	(f)	n° 21.	19,91
	(a)	n° 17.	19,99
8°	(f)	n° 26.	20,67
9°	(f)	n° 19.	22,78
10°	(a′)	n° 15.	24,60
11°	(f)	n° 20.	25,01
	(d)	n° 5.	25,14
12°	(c)	n° 8.	26,01
	(f)	n° 22.	26,51
	(c)	n° 29.	26,84
13°	(f)	n° 18.	28,43
14°	(c)	n° 4.	29,99
15°	(f′)	n° 25.	31,21
16°	(c)	n° 27.	33,11
17°	(c)	n° 28.	40,73

Les différences que l'on remarque entre les deux classements A et A′ tiennent à ce que les poudrettes (*c*) (*d*) (*e*) sont en général plus humides que les poudrettes (*f*). C'est ainsi que l'échantillon (*e*) n° 7 se trouve l'avant-dernier de la série A, tandis qu'il vient immédiatement après les guanos dans la série A′.

Les engrais qui, ainsi que le n° 25, renferment beaucoup de matières inertes, doivent être classés moins défavorablement dans la série B que dans celle B′.

On voit encore que les échantillons (*a*) occupent un meilleur rang dans la série B que dans la série A à cause de la forte proportion de matières solubles qui s'y trouve contenue.

Enfin, on remarque que les guanos (le n° 10 excepté) occupent le premier rang dans toutes les séries. Les matières organiques forment, en effet, la moitié de leur poids, tandis qu'elles

(1) Le rang anormal qu'occupe l'échantillon (*b*) n° 3 s'explique par la petite quantité de cendres qu'il renferme et qui est due à la forte proportion de charbon de bois qui s'y trouve mêlée.

n'entrent que pour 22 à 34 p. 100 dans les poudrettes. La supériorité des guanos tient non-seulement d'ailleurs à la grande quantité de matières organiques qu'ils contiennent, mais encore à la présence des phosphates qui influent notablement sur le mode d'action des engrais. Aussi n'est il pas étonnant qu'en pratique on fume un hectare de terre avec 350 à 400 kilogrammes de guano, tandis qu'on emploie pour le même objet 1.700 kilogrammes de poudrette ou 30.000 kilogrammes de fumier normal (1).

Nous avons dit dans ce qui précède que les engrais n'agissaient pas seulement par leur azote, mais aussi par les substances minérales qui entrent dans leur composition. En effet, parmi les soixante-deux corps simples de la chimie actuelle, quatorze font partie des végétaux, savoir : le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le potassium, le sodium, le calcium, le magnésium, le fer, le manganèse, le silicium, le phosphore, le soufre et le chlore. Il est naturel que ces mêmes corps simples se trouvent aussi dans les engrais, puisque ceux-ci sont produits par les animaux qui ne se nourrissent eux-mêmes que de végétaux, et il résulte de l'antériorité de ces derniers aux diverses races qui ont peuplé successivement la surface du globe, que les principes essentiels des plantes doivent se trouver sous forme assimilable dans la nature inorganique. Les quatorze corps simples dont les végétaux sont composés sont en effet précisément ceux qui sont le plus répandus à la surface de la terre (2).

(1) L'engrais type ou fumier normal, auquel MM. Boussingault et Payen comparent tous les autres engrais, est un fumier à demi-consommé, formé par un mélange de litières et de déjections d'herbivores. Il contient 79,3 d'eau et 20,7 p. 100 de matière sèche. Sa teneur en azote est de 0,4 p. 100 et de 1,95 à l'état sec.

(2) De la Bèche (*Recherches sur la partie théorique de la Géologie*, p. 16).

Les uns sont à l'état gazeux, comme l'oxygène et l'azote qui font partie intégrante de l'air atmosphérique. Les autres se trouvent à l'état solide dans les roches dont la croûte superficielle du globe est formée. Ces corps s'introduisent dans les plantes par l'intermédiaire de l'eau qui agit non-seulement comme dissolvant, mais encore en facilitant certaines réactions et en dégageant, par sa décomposition même, les gaz oxygène et hydrogène que les végétaux s'assimilent.

Les éléments constitutifs des plantes existant dans l'enveloppe solide du globe et dans l'atmosphère qui l'entoure, il doit être possible de les concentrer en un point donné par le secours seul des produits du règne minéral. A ce point de vue, la définition la plus générale des engrais serait : *Toute matière pouvant fournir des aliments aux plantes*, la dénomination d'amendements étant réservée aux substances susceptibles de modifier les propriétés physiques des terres ou de faciliter l'assimilation des éléments renfermés dans les engrais.

Il est intéressant de passer en revue les gisements des corps simples communs aux deux règnes végétal et minéral; car leur accumulation dans certains lieux peut influer notablement sur l'emploi des engrais.

L'azote existe dans la nature non-seulement à l'état gazeux dans l'air atmosphérique, mais encore combiné avec l'oxygène sous forme d'acide nitrique et avec l'hydrogène sous forme d'ammoniaque. On sait que lorsque le fer exposé à l'air humide se couvre de rouille, il se produit de l'ammoniaque aux dépens de l'hydrogène de l'eau décomposée. Le salpêtre, qui est un mélange en proportions variables de nitrates de potasse, de chaux et de magnésie, se trouve en efflorescences à la surface des murailles et au milieu des plaines dans

un grand nombre de localités, surtout dans les pays chauds.

Le nitrate d'ammoniaque dont la présence a été constatée dans les pluies d'orage, et qui paraît être le point de départ de la formation du salpêtre, est probablement dû aux décharges électriques qui ont lieu surtout dans les contrées tropicales où la nitrification naturelle est si manifeste.

On connaît encore le nitrate de soude qui n'a été découvert jusqu'ici qu'au Pérou; l'ammoniaque sulfatée qui se rencontre sous forme d'efflorescences à la surface des laves des volcans et surtout dans les eaux des Lagoni de Toscane.

L'ammoniaque muriatée ou sel ammoniac est aussi un produit volcanique qui se sublime continuellement dans les fentes des solfatares. Il existe sur certaines houillères embrasées où il est produit par la décomposition des substances organiques du terrain houiller (1). Les eaux ammoniacales des usines à gaz démontrent en effet, avec évidence, l'existence de l'azote dans la houille.

L'azote se trouve aussi dans le sol; car, d'après des essais faits dans le laboratoire de M. Liebig, un hectare d'une terre argileuse à une profondeur de 25 centimètres, contient 10.000 kilogrammes d'ammoniaque pure, et un terrain entièrement sablonneux au delà de 2,000 kilogrammes. Sa présence a été constatée aussi dans certaines roches. Une marne de Lenguy, recueillie par M. de Gasparin, a donné à l'analyse près de 0,002 d'azote. Une autre variété du département du Bas-Rhin en contient plus de 0,001 (2).

Les alkalis fixes se rencontrent dans les terrains les

(1) Dufrénoy (*Traité de minéralogie*, t. II, p. 139).
(2) Boussingault (*Économie rurale*).

plus anciens comme dans les plus modernes. Ils existent, en effet, dans toutes les roches feldspathiques, micacées, chloritées, dans les roches siliceuses qui proviennent de la décomposition ou de la désagrégation de ces dernières comme les schistes de transition et les schistes dévoniens, dans les laves des volcans et dans la plupart des calcaires et des argiles (1).

Le sodium est, comme on le sait, dissous dans l'eau de la mer à l'état de chlorure ou de sel marin dans la proportion de 2 p. 100. On connaît le même sel à l'état fossile dans la formation des marnes irisées dont il est contemporain, ou en amas formés postérieurement dans

(1) En Flandre où presque toutes les habitations se font en briques, d'abondantes efflorescences s'aperçoivent sur toute la surface des murailles peu de jours après leur construction. M. Kulmann a constaté que ces efflorescences sont généralement formées de *carbonate et de sulfate de soude* se présentant tantôt à l'état cristallin, tantôt à l'état de masse farineuse par suite de la perte d'une partie de l'eau de cristallisation. Le même chimiste a remarqué que dans les constructions récentes, le soubassement des bâtiments est maintenu dans un état constant d'humidité par suite de l'exsudation à travers les joints des briques d'une quantité notable de dissolution de *potasse* et d'un peu de *chlorure de potassium et de sodium*, dont l'origine paraît être la même que celle des carbonate et sulfate de soude qui se présentent à l'œil avec des caractères plus apparents. Ces observations fort curieuses ont conduit M. Kulmann à rechercher la cause de ces efflorescences dans les argiles à briques et dans les calcaires servant à la fabrication de la chaux. Le traitement des terres à briques par la baryte lui a permis d'y constater des traces de potasse; mais les mêmes efflorescences s'étant formées à la surface des plâtrages faits avec de la chaux appliquée sur grès sans mélange d'argile ni de sable, il était plus naturel de les attribuer aux pierres calcaires ou à la houille employée à la cuisson de la chaux. On avait bien remarqué que la houille exposée à l'air depuis quelque temps, se recouvrait aussi de sulfate de soude; mais l'analyse des cendres de ce combustible donnait des quantités trop minimes de carbonate ou de sulfate alkalin pour qu'il fût possible d'attribuer à cette origine seule-

les terrains jurassiques, crétacés ou tertiaires (1). Il doit donc se trouver par suite dans un grand nombre de sources.

La soude existe aussi dans la nature à l'état de carbonate (natron, urao) qui se dépose sous forme neigeuse par l'évaporation des eaux de certains lacs, particulièrement en Hongrie et dans les plaines qui bordent la mer Noire (2). On admet que ce sel est produit par la réaction du carbonate de chaux sur le sel marin.

Enfin, il convient de mentionner la soude boratée qu'on a trouvée en dissolution dans des lacs de l'Inde situés au delà du Thibet.

L'acide phosphorique entre dans une foule de composés minéraux, dont le plus important, au point de vue agricole, est sans contredit le phosphate de chaux. Ce sel a été rencontré jusqu'ici dans les terrains liasique et crétacé. C'est surtout celui de cette dernière formation qui est le plus généralement connu. On l'exploite depuis longtemps en Angleterre (Sussex, île de Wight)

ment les abondantes efflorescences des murailles. Il ne restait donc que les pierres à chaux où M. Kulmann a constaté, en effet, la présence d'une proportion notable de potasse et de soude à l'état de silicate, de chlorure et de sulfate. Il a opéré sur des calcaires de différentes époques géologiques : calcaires compacts, calcaires carbonifères et craies. Mais c'est surtout le calcaire bleu de Tournai qui paraît renfermer la plus grande quantité de matières salines. Le sulfate de soude des murailles trouverait donc son explication, d'après M. Kulmann, dans l'absorption des vapeurs sulfureuses produites lors de la cuisson de la chaux au moyen de la houille, et peut-être aussi en partie à l'absorption de l'acide sulfurique répandu dans l'air et produit si abondamment par la décomposition de certaines substances animales.

(1) Dufrénoy, *Traité de minéralogie*, t. II, p. 151.

(2) *Id.*, p. 159.

dans le tourtia situé à la base des marnes crayeuses (1).

C'est exactement dans la même situation géologique que se trouvent les nodules noirâtres des environs de Monthois (Ardennes), connus dans le pays sous le nom de *Coquins* ou *Crottes-du-Diable*, et dans lesquels j'ai constaté l'existence d'une quantité notable d'acide phosphorique.

Ces nodules se rencontrent également dans le Greensand inférieur avec les minerais de fer en grains qui alimentent les hauts-fourneaux de l'arrondissement de Vouziers (2).

Il existe aussi des nodules phosphatés dans la craie chloritée qui forme la base de l'étage supérieur de la craie blanche. J'en ai reconnu aux environs de Lille une couche d'au moins $0^{m},60$ d'épaisseur, dont un échantillon a donné à l'analyse 15 p. 100 d'acide phos-

(1) M. Ibbeston a constaté sur beaucoup de points de l'île de Wight, et immédiatement sous la craie marneuse qu'elle sépare du grès vert supérieur, une masse grise remplie de grains verts de silicate de fer et de sable quartzeux. Vers le haut de cette couche, il y a quelquefois un conglomérat de petits cailloux, et vers le bas des fossiles et des nodules allongés en forme de coprolithes renfermant beaucoup de phosphate de chaux. Des nodules semblables ont été trouvés à Fernham, à Caldon, près Zulworth, à Holywell, sur le chemin de fer de Wiltshire à Weymouth, à Chut-Farm, etc. L'analyse de ceux de Fernham avait donné 28 p. 100 de phosphate de chaux, et la masse enveloppante en contenait de 2 à 3 p. 100. Celle des nodules de Saint-Catherine's-Downs, dans l'île de Wight, a donné à M. Nesbit 19 p. 100 d'acide phosphorique, et 39 p. 100 de phosphate de chaux. Cette couche, constatée sur beaucoup de points de l'île que l'auteur a mentionnés avec soin, pourrait être fort utile pour fertiliser les sables ferrugineux improductifs qui en occupent le centre. (D'Archiac, *Histoire des progrès de la Géologie*, t. IV, p. 47.)

(2) *Géologie des Ardennes*, par MM. Sauvage et Buvignier, p. 350.

phorique (1). Ces derniers sont d'un gris blanchâtre, à texture compacte et parsemés de petits grains verts. Ils sont durs, assez pesants, et donnent une effervescence lente avec les acides. M. de Villeneuve a trouvé un moyen simple de les réduire en poudre en les enveloppant de quelques morceaux de chaux vive dont il opère l'extinction. M. D'Archiac a signalé dans le terrain de craie du département de l'Aisne des *nodules endurcis* qui occupent le même niveau géologique que ceux de Lille, et qui ne sont probablement que des phosphates comme ces derniers (2). S'il en était ainsi, les terrains situés vers la limite des deux étages crayeux (*Systèmes nervien et sénonien* de M. Dumont), qui traverse les départements du Nord, de l'Aisne, des Ardennes et de la Marne, renfermeraient des richesses immenses pour l'agriculture de ces contrées.

L'acide sulfurique se forme journellement par la décomposition des pyrites disséminées dans un grand nombre de terrains. Les lignites tertiaires exposés à

(1) On avait trouvé dans un échantillon de craie chloritée pris au hasard dans la même localité 3,7 p. 100 du même acide. (Meugy, *Géologie de la Flandre française*, p. 46.)

(2) Dans les carrières de la Malmaison, au sud-est de Sissonne, les bancs inférieurs deviennent marneux, d'une teinte grise et leur texture est plus terreuse. On y remarque une grande quantité de parties compactes plus dures à grains plus fins et plus serrés, de formes variées et de grandeurs inégales désignées par les ouvriers sous le nom de *durillons* ou *œils de perdrix*. Elles se lient intimement à la pâte enveloppante, et sont dépourvues de points noirs d'oxyde de manganèse très-répandus dans celle-ci. Cette modification locale de la roche est semblable à ce que nous avons vu désigné dans le département de l'Oise sous le nom de *craie noduleuse*.... A Pouilly, la pierre est remplie des nodules endurcis précédents.... Au nord de Montcornet, la craie à silex est recouverte par la craie grise que caractérisent sa teinte et ses nodules compactes (*durillons*). (D'Archiac, *Histoire des progrès de la Géologie*, t. IV, p. 216, 217.)

l'air donnent naissance à du sulfate de fer qui recouvre leur surface de petits cristaux parmi lesquels on distingue aussi des houppes soyeuses d'alun de plume (sulfates d'alumine et de fer). Certains schistes pyriteux du terrain houiller sont dans le même cas.

L'acide sulfurique est aussi combiné avec la soude, et se présente sous forme de rognons rougeâtres, quelquefois très-abondants au milieu des argiles salifères. Mais on le rencontre surtout dans la nature à l'état de sulfate de chaux qui se trouve en couches ou en amas puissants dans diverses formations, notamment dans le terrain tertiaire et dans celui des marnes irisées.

Le sulfate de chaux est souvent un produit qui dérive de la réaction des pyrites effleuries sur le calcaire. Celui qui existe en dissolution dans les eaux de la craie est dû sans doute à cette cause C'est aussi à la décomposition du carbonate de soude par l'acide sulfurique des pyrites que M. Kulmann attribue les efflorescences de sulfate de soude remarquées à la surface des tas de houille.

Le chlore est connu comme l'un des éléments du sel. L'eau de la mer où il est uni au sodium, au calcium et au magnésium, en est donc une source intarissable. Le chlore paraît exister aussi à l'état de chlorure dans les pierres à chaux ; car la dissolution de ces pierres dans l'acide nitrique pur donne des précipités blancs avec les sels d'argent (1).

L'acide carbonique existe non-seulement dans l'air, mais aussi dans l'eau. C'est à la faveur d'un excès de cet acide que certaines eaux de sources tiennent en dissolution du carbonate de chaux qui se dépose par l'évaporation. Les masses de calcaire qui forment une

---

(1) Kulmann, *Expériences chimiques et agronomiques*, p. 35.

grande partie de la croûte du globe nous dispensent de nous étendre davantage sur le gisement de cet acide.

On peut en dire autant de *la silice* qui entre dans toutes les roches primitives et dans toutes les argiles, combinée avec l'alumine, la chaux, la magnésie, la potasse, etc., et qui se trouve quelquefois à l'état gélatineux comme dans certaines roches du terrain tertiaire, du grès vert et de l'oxford-clay. Mais la même substance existe souvent aussi malheureusement à l'état insoluble, et c'est sa présence à l'exclusion des autres éléments qui cause la stérilité des contrées sableuses.

Il en est de même de *la chaux* et de *la magnésie* qui se trouvent dans presque tous les terrains, mais qui sont loin d'être réparties uniformément à la surface du globe. Nous en avons un exemple dans la Sologne qui en manque entièrement, et où le gouvernement favorise autant que possible le transport et l'exploitation de la marne, par la construction de voies navigables et par des travaux de sondage. Il convient aussi de distinguer les roches feldspathiques des roches amphiboliques et pyroxéniques. Ces dernières sont riches en chaux, tandis que les premières en sont presque dépourvues.

Enfin, les *oxydes de fer et de manganèse* sont tellement connus qu'il est presque inutile d'en parler. C'est l'oxyde de fer qui colore la plupart des argiles. On le trouve aussi à l'état de carbonate et de sulfate dans les eaux minérales.

Ajoutons quelques mots en terminant sur l'avenir des engrais azotés. Déjà l'industrie agricole tire le plus utile parti des eaux ammoniacales des usines à gaz dont l'origine est toute minérale, après leur saturation par un acide ou leur décomposition par le plâtre, le sulfate de fer, etc. Mais ne serait-il pas possible aussi de fixer l'azote de l'air? Il résulte des expériences de

M. Boussingault que la matière organique des plantes est toujours récoltée en plus grande abondance que celle introduite dans le sol par les engrais, d'où il suit que l'excédant doit être puisé dans l'atmosphère. M. Boussingault pense que cet azote en excès provient uniquement de l'ammoniaque des eaux pluviales, du brouillard ou de la rosée, et M. Ville croit, au contraire, qu'il est fourni directement, pour la plus grande partie, par l'air atmosphérique. Cette dernière opinion n'est pas inadmissible, et on conçoit, en effet, que l'azote de l'air puisse être fixé, soit à l'état d'acide azotique par la nitrification qui peut s'opérer sous l'influence de l'ammoniaque des engrais, soit même à l'état d'ammoniaque; car on sait que ce dernier composé se produit partout où s'opère une décomposition lente de l'eau comme dans la formation de la rouille. Enfin, il paraît certain que, pendant la fermentation des matières organiques non azotées, il se forme aussi de l'ammoniaque aux dépens de l'air et de l'eau. Toutes ces observations ne pourraient-elles conduire à une fabrication d'engrais dans laquelle l'azote de l'air serait l'élément premier fondamental?

Il arrivera peut-être une époque où la pile électrique aidera à obtenir cet immense résultat, qui n'est certainement pas du domaine des utopies, s'il est vrai que le nitrate d'ammoniaque se forme journellement sous l'influence de l'électricité atmosphérique.

COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR.

RAPPORTS, ET AVIS

DE LA COMMISSION SUR L'EXPLOSION DE LA CHAUDIÈRE DU BATEAU A VAPEUR L'ÉCLAIREUR N° 2.

Dans sa séance du 24 février 1854, à laquelle assistaient MM. Cordier, Thirria, Combes, Mary, Lorieux, Lamé, Couche, Fournel, Callon, la commission, sur le renvoi de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, en date du 4 février 1854, a pris connaissance des pièces concernant l'accident du 5 novembre 1853, arrivé à bord du bateau à vapeur *l'Éclaireur n° 2*, et elle a entendu la lecture des rapports suivants :

Rapport à la commission de surveillance des bateaux à vapeur siégeant à Lyon.

Le 5 novembre 1853, le bateau à vapeur *monoroue l'Éclaireur n° 2*, appartenant à la société Burnet et compagnie, et exclusivement affecté au transport des marchandises sur la Saône et les canaux y aboutissant, quittait, vers trois heures du soir, le port de Vaise avec un chargement de 80 tonnes de marchandises diverses, en remorquant en outre deux bateaux chargés, et un troisième ne portant que des agrès et du liége, à destination de Châlon et route.

Vers trois heures un quart, au moment où *l'Éclai-*

reur n° 2 passait devant le ruisseau de Roche-Cardon, la chaudière à vapeur faisait explosion, et presque aussitôt après le bateau coulait à fond dans un trou de drague de 8 à 10 mètres de profondeur d'eau.

Le sieur Rémond, premier marinier, qui se trouvait à la barre du gouvernail, laquelle passait en partie sur l'arrière de la chaudière, et fut brisée en trois morceaux, fut lui-même projeté à l'eau, et son cadavre n'a pas encore été retrouvé. Le sieur Louis Bouchard, patron du bateau, qui se trouvait aussi sur l'arrière, près de la barre, plus heureux que le précédent, n'a été que légèrement brûlé par la vapeur aux mains et à la figure. Le sieur Alphonse Étienne, mécanicien, qui au moment de l'explosion venait d'ouvrir la porte du foyer, a eu une partie de la figure légèrement brûlée par la projection de charbons enflammés, et a reçu quelques contusions sans gravité. Le sieur Jean Biet, deuxième marinier, n'a reçu également que quelques légères contusions. Enfin les chauffeurs et le mousse n'ont eu aucun mal.

Quelles sont les causes de ce sinistre? c'est ce que nous allons examiner.

Le bateau, construit en tôle de fer, avait 30 mètres de long et 5 mètres de large, et était pourvu d'une roue motrice unique placée dans une échancrure à l'arrière. A gauche de la roue se trouvait la chaudière à vapeur, et à droite la machine motrice, de la force de 30 chevaux, construite par William Hall, à Vaise.

La chaudière à vapeur, sortie des ateliers de Breton et Danto, chaudronniers à Lyon, et éprouvée chez ces derniers le 26 septembre 1852 pour le timbre de 3 atmosphères, était à retour de flamme tubulaire; sa surface de chauffe était de $44^{mq},50$, et sa capacité de $2^{mc},915$. Voici d'ailleurs ses dimensions :

	Diamètre ou largeur.	Longueur.	Hauteur.	ÉPAISSEUR en millimètres. Réelle.	Légale pour les parties cylindriques
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
Corps cylindrique.	1,30	2,90	»	8,25, 8,75	7,68
Enveloppe du foyer.	1,50	2,25	0,90	9,00	
Foyer inférieur.	0,88	2,25	0,90	9,00, 10,00	
Boîte à fumée. Extérieur.	1,20	0,60	0,90	10,00	
Boîte à fumée. Intérieur.	0,88	0,45	1,50	10,00	
Tubes de retour des flammes au nombre de 36.	0,085	2,30	»	3,00	
Réservoir de vapeur vertical.	0,75	»	0,75	9,00	5,70

Les parties cylindriques avaient donc plus que l'épaisseur légale, et les parties planes parallèles, réunies par des entretoises convenablement espacées, offraient toutes les garanties de solidité exigibles. En conséquence, et sur la proposition de la commission de surveillance des bateaux à vapeur de Lyon, M. le conseiller d'État chargé de l'administration du département du Rhône délivra aux sieurs Burnet et compagnie, le 10 juin 1853, un permis de navigation sur la Saône et les canaux y aboutissant pour le bateau à vapeur monoroue désigné sous le nom d'*Éclaireur n° 2*, en fixant à 110 tonneaux le maximum du chargement.

Après le sauvetage de la chaudière, on put constater que les tubes calorifères des rangées supérieures, qui étaient en fer et prolongés par des bouts en cuivre rouge sur une longueur d'environ $0^m,20$ du côté de la boîte à fumée, offraient absolument le même aspect que si on les avait brusquement projetés dans l'eau après les avoir fortement chauffés; qu'en outre les tubes placés à la partie supérieure de la chaudière s'étaient plus ou moins courbés en tournant toute leur convexité vers le haut, ce qu'explique naturellement la haute

température à laquelle ils ont dû être portés par une émersion antérieure à l'explosion. Dans *le Parisien n° 5*, au contraire, dont les tubes étaient restés couverts d'eau, aucun d'eux n'était cintré, bien que la chaudière offrît après l'explosion, due d'ailleurs à d'autres causes, une grande ressemblance avec celle de *l'Éclaireur.*

La boîte à fumée présentait également des traces de suréchauffement.

Le foyer était parfaitement décapé et sans dépôt ni coup de feu.

La tôle, aux endroits où elle s'est déchirée, était de bonne qualité, et son épaisseur y dépassait l'épaisseur légale; on comprend en effet qu'elle n'était point exposée dans cette partie à l'action destructive du feu. (Voir, sur la Pl. X, *fig.* 1 à 10, les dessins de la chaudière avant et après l'explosion, relevés par M. le garde-mines Rolle.)

Les soupapes ne présentaient, lorsqu'on les a repêchées, aucune trace de calage. Elles auraient toutefois pu être surchargées au moyen de poids additionnels, ce qui est à peu près aujourd'hui le seul moyen adopté par les mécaniciens pour dépasser la pression de marche autorisée, sauf dans les coups d'eau et les rapides, où ils font souvent appuyer des hommes sur les soupapes. Mais ce genre de surcharge, impossible à reconnaître après un accident, fût-il constaté dans l'espèce, nous paraîtrait encore n'avoir joué qu'un rôle tout à fait secondaire dans l'explosion de la chaudière de *l'Éclaireur n° 2*.

Cette explosion est principalement due à un manque d'eau dans la chaudière, résultant d'une interruption ou d'une insuffisance de l'alimentation dont la conséquence a été l'émersion successive de haut en bas des

tubes calorifères, qui ont alors acquis une température élevée; et qui ensuite, portés subitement au contact soit de l'eau restant dans la chaudière par une oscillation du bateau, soit plutôt de l'eau injectée par la pompe alimentaire de la machine, auront donné lieu à une production instantanée de vapeur plus que suffisante pour déterminer l'explosion.

Effectivement, lors du sauvetage, on a trouvé ouvert le robinet d'admission de vapeur du petit cheval servant à assurer l'alimentation de la chaudière, tandis que le robinet d'aspiration contre la bande du bateau était fermé. Le petit cheval fonctionnait donc sans pouvoir fournir de l'eau.

D'un autre côté, et suivant les renseignements recueillis par M. le commissaire de police chargé de l'enquête, le mécanicien se trouvait sur le pont du bateau quelques minutes avant l'accident, et il ne serait descendu dans le compartiment de l'appareil moteur qu'en s'apercevant du ralentissement de la marche du bateau, conséquence naturelle de l'abaissement de l'eau dans la chaudière, qui rendait inutile une partie toujours croissante de la surface de chauffe. En voyant marcher le petit cheval, et sans se rappeler qu'il ne pouvait alimenter par suite de la fermeture du robinet d'alimentation, trompé peut-être aussi par le tube en verre indicateur du niveau qu'il aura pu omettre de purger avant de le consulter, le sieur Étienne aura pensé que l'abaissement du niveau de l'eau était peu considérable, et qu'il pouvait y remédier sans jeter son feu et s'arrêter. C'est alors qu'il aura, soit fait fonctionner la pompe de la machine motrice, soit, cette pompe fonctionnant mal, remis les clapets en état en frappant sur leur boîte. Aucune autre explication ne nous paraît susceptible de rendre compte des faits observés.

Nous remarquerons seulement que la pièce détachée de la partie supérieure de la chaudière s'est élevée à peu près verticalement à une hauteur d'environ 20 mètres, ce qui doit faire rejeter l'idée d'une déchirure successive ayant commencé en un point où la tôle aurait présenté un défaut ou une fissure antérieure, auquel cas le fragment projeté eût été lancé latéralement.

En résumé, l'explosion de la chaudière de *l'Éclaireur n° 2* a été produite par un dégagement instantané de vapeur dû à une projection d'eau sur une partie des tubes calorifères portés à une température élevée par suite d'un défaut d'alimentation provenant de la négligence du mécanicien, et cette explosion a amené la mort d'un des hommes de l'équipage. La violence de la réaction produite sur le fond du bateau, à l'arrière et à gauche, a suffisamment incliné la coque déjà chargée de 80.000 kilogrammes de marchandises et non pontée, pour que l'eau passant par-dessus le plat-bord, envahît le compartiment où se trouvaient les colis et fît sombrer le bateau, sans toutefois endommager la cloison qui le séparait du local de la chaudière, dont la fonçure seule a été défoncée.

Il n'y a dans l'espèce aucun procès-verbal de contravention à dresser contre le sieur Burnet ni contre son mécanicien; toutefois, l'article 69 de l'ordonnance du 22 mai 1843 concernant les appareils à vapeur, portant que leurs propriétaires, « conformément aux dispositions de l'article 1384 du Code civil, seront responsables des accidents et dommages résultant de la négligence ou de l'incapacité de leurs agents, » il y a lieu de transmettre à M. le procureur impérial de Lyon copie du présent rapport, pour être joint aux pièces de l'instruction judiciaire suivie contre les sieurs

Burnet, propriétaire, et Alphonse Étienne, mécanicien du bateau à vapeur *l'Éclaireur n° 2*.

L'ingénieur des mines, secrétaire de la commission,

Signé P. Debette.

Rapport à la commission centrale des machines à vapeur.

Une explosion a eu lieu, le 5 novembre 1853, sur le bateau à vapeur *l'Éclaireur n° 2*, affecté au transport des marchandises sur la Saône.

Cette explosion a eu, comme l'indique le rapport précédent, des suites fort graves.

La commission de surveillance instituée à Lyon a attendu, pour faire son rapport, que le sauvetage du bateau eût été opéré. De l'examen attentif auquel elle s'est alors livrée, il résulte que l'explosion doit être attribuée à un dégagement instantané de vapeur produit par une projection d'eau sur une certaine quantité de tubes calorifères portés à une très-haute température, par suite d'un défaut d'alimentation. Les principaux motifs à l'appui de cette conclusion sont, d'une part, l'état dans lequel se sont trouvés les tubes des rangées supérieures; de l'autre, cette circonstance que lors du sauvetage on a trouvé ouvert le robinet d'admission de vapeur du petit cheval, tandis que le robinet d'aspiration était fermé, d'où l'on a déduit que le petit cheval *marchait*, mais n'*alimentait pas*.

Je pense que l'explication donnée par la commission de Lyon est parfaitement admissible.

L'accident dont il s'agit montre qu'il est fort important pour les chaudières tubulaires, au moins autant que pour les chaudières à carneaux, de veiller attentivement à la régularité de l'alimentation. On aurait pu

penser qu'un défaut d'alimentation dans les chaudières tubulaires ne pouvait avoir pour effet que de détruire plus ou moins rapidement quelques-uns des tubes mis à nu, mais non de faire éclater le corps cylindrique. L'accident dont il s'agit montre que cette opinion serait erronée.

On doit même dire que beaucoup de chaudières tubulaires, et notamment celle de *l'Éclaireur n° 2*, sont sous ce rapport plus dangereuses que les chaudières cylindriques ordinaires à carneaux; c'est ce qui résulte des détails suivants :

Les deux premières rangées de tubes occupent $0^{m},18$ de hauteur, et contiennent 14 tubes ayant une surface de chauffe totale de $8^{m2},61$, ci. . . . . $8^{m2},61$

Le dessus de la boite à feu est de. . . . . $0^{m2},45$

Total . . . . . . $9^{m2},06$

L'épaisseur des tubes est de 3 millimètres seulement; l'épaisseur légale de la tôle pour la chaudière dont il s'agit, qui a $1^{m},30$ de diamètre, est de $7^{mm},68$; le poids des 14 tubes correspond donc à une surface de chauffe de $\frac{3}{7,68} \times 8,61 =$ . . . . $3^{m2},36$

Ajoutant comme ci-dessus. . . . . $0^{m2},45$

On a un total de. . . . . $3^{m2},81$

On peut donc énoncer que l'abaissement de $0^{m},18$ dans le niveau de l'eau correspond au même poids de métal surchauffé que si $3^{m},81$ de la surface du corps cylindrique étaient mis à nu dans des carneaux, ce qui correspondrait à une hauteur de $0^{m},465$ sur tout le pourtour de la chaudière.

Une pareille situation serait sans doute regardée comme fort dangereuse; elle le serait moins pourtant qu'avec la chaudière tubulaire, puisqu'un poids donné

de métal cédera sa chaleur d'une manière d'autant plus instantanée qu'il sera en lames plus minces et plus étendues.

Pour mettre à nu deux rangées de tubes, il a suffi, comme nous l'avons dit, que le niveau de l'eau baissât de $0^m,18$; ce qui correspond à une dépense d'eau de 400 litres (ou pour une force de 35 chevaux environ, à $44^{m^2},50$ de surface de chauffe et une consommation de 3 kilogrammes par cheval et par heure) à une marche de 22 à 23 minutes. Il suffisait donc, avec la chaudière de *l'Éclaireur n° 2*, de marcher moins de 23 minutes sans alimenter pour être sous le coup d'une explosion imminente; or on marchait depuis environ un *quart d'heure sans alimenter*, lorsque l'explosion s'est produite.

Ainsi la chaudière dont il s'agit était en réalité assez dangereuse, parce que, avec un poids donné de tôle qui venait à y rougir accidentellement, le développement de vapeur amené par une projection d'eau y pouvait être presque instantané; et parce que, pour amener jusqu'à rougir un poids assez grand de tôle, il suffisait que l'alimentation fût suspendue pendant un temps assez restreint.

Dans l'espèce, le poids qui a pu rougir était parfaitement suffisant pour produire l'accident qui a eu lieu.

En effet, les 14 tubes doivent peser environ	$201^k,47$
Le dessus de la boîte à feu.	$26^k,96$
Total.	$228^k,43$

Soit 230 kilogrammes au moins, y compris les rivets.

Ces pièces, dans leur position, ont pu être facilement portées à 450° et plus. Un abaissement brusque de 200° est bien admissible pour des feuilles aussi minces. En prenant 0,12 pour la chaleur spécifique du

fer, cela fait $250 \times 200 \times 0,12 = 5.520$ calories. L'eau de la chaudière étant déjà à 3 atmosphères ou à 135°, il faut, pour en vaporiser 1 kilogramme à une température t, la quantité de chaleur donnée par la formule suivante :

$x = 606,5 + 0,305\, t - 135$; et si par aperçu on pose $t = 200°$, on trouve $x = 532$.

Ainsi les 5.520 calories ont pu vaporiser $\frac{5520}{532} = 10^{k},4$ d'eau environ.

L'espace vide au-dessus du niveau de l'eau était d'environ $2^{m3},100$, y compris le réservoir de vapeur, et déduction faite du volume des 14 tubes.

Cet espace contenait déjà $3^{k},39$ de vapeur saturée à 3 atmosphères. Il s'en est donc trouvé $13^{k},79$ après la vaporisation instantanée. Ces $13^{k},79$, occupant $2^{m3},100$, étaient à une température de 197° environ, et à la tension correspondante de 14 atmosphères.

On remarquera que cette pression de 14 atmosphères est 6 fois et demie la pression normale, *ou plus de 2 fois la charge d'épreuve ;* de sorte que l'épreuve même n'aurait pas été une garantie contre la cause d'explosion dont il s'agit ici.

Quant aux effets consécutifs de la rupture du corps cylindrique, savoir la projection à une grande hauteur de la partie détachée, et la submersion du bateau, ils s'expliquent sans aucune difficulté par l'expansion tant de $13^{k},79$ de vapeur préexistante que de celle qui a pu se former lorsque la masse d'eau de la chaudière chauffée à 135° a été mise en communication avec l'atmosphère.

D'après les détails qui précèdent, j'ai l'honneur de proposer à la commission de répondre à M. le ministre de la manière suivante :

1° La cause de l'explosion de *l'Éclaireur n° 2* paraît bien être celle qui a été signalée par la commission de surveillance de Lyon.

2° Cet accident est une nouvelle preuve de l'importance d'une alimentation régulière, aussi bien pour les chaudières tubulaires que pour celles à carneaux ou à galeries, et en général de la ponctuelle observation de toutes les mesures de précaution indiquées dans l'instruction du 25 juillet 1843.

Par ce motif, il serait opportun de faire connaître les circonstances dans lesquelles il s'est produit, en insérant dans les *Annales des mines* et dans celles des ponts et chaussées le rapport de la commission de Lyon et le présent rapport.

3° Enfin, comme M. le préfet, dans sa lettre d'envoi à M. le ministre, annonce que l'affaire a été renvoyée par lui à M. le procureur impérial de Lyon, il ne reste à prendre par l'administration aucune autre mesure utile.

Le secrétaire adjoint de la commission,
Signé : J. Callon.

La commission, après en avoir délibéré, approuvant les observations contenues dans ce rapport, en adopte les conclusions.

L'inspecteur général des mines,
président de la commission,
Signé L. Cordier.

Le secrétaire adjoint,
Signé J. Callon.

MÉMOIRE

SUR LE CALCUL DE L'EFFET UTILE ET LA CONSTRUCTION DU VENTILATEUR A FORCE CENTRIFUGE.

Par M. H. RESAL, ingénieur des mines.

Du ventilateur employé comme machine soufflante.

1. Le ventilateur à force centrifuge, employé comme machine soufflante, se compose, comme chacun le sait, d'une roue à palettes planes ou courbes, à axe horizontal, placée dans une enveloppe formée de deux faces planes latérales et d'une partie courbe généralement excentrique à la roue dont elle entoure la surface convexe.

L'air extérieur, appelé par le mouvement du ventilateur, pénètre dans l'enveloppe par deux ouvertures circulaires concentriques à l'axe de rotation, et pratiquées dans ses faces latérales, puis se rend, après avoir circulé entre les aubes de la roue, dans un tuyau de dégagement qui vient se raccorder avec les trois parties de cette enveloppe.

Les seules résistances passives éprouvées par l'air, à son passage dans le ventilateur, qui aient de l'importance, correspondent aux pertes de force vive dues aux variations plus ou moins brusques de vitesse du fluide lorsqu'il se rend de la conduite centrale dans les aubes, et des aubes dans l'espace excentrique et le tuyau de dégagement.

Le problème que nous nous proposons de résoudre ici consiste à déterminer la forme qu'il convient de don-

ner aux ailes et à l'enveloppe du ventilateur pour rendre minimum ces pertes de force vive, et à chercher des méthodes simples, graphiques et analytiques propres à construire les ailes planes, satisfaisant à cette condition de minimum, que l'on peut substituer aux ailes courbes.

A la suite de ce travail, nous avons appliqué la même méthode de recherche au ventilateur aspirant employé dans les mines, sans toutefois insister beaucoup sur ce sujet, qui a été l'objet, de la part de M. Combes, d'études approfondies et d'intéressants travaux.

Pour simplifier la question, nous avons négligé la compressibilité de l'air en mouvement, hypothèse suffisamment justifiée par différentes expériences, notamment par celles de MM. Poncelet et Pecquœur, lorsque les variations de pression sont très-faibles.

2. Supposons que la *fig.* 11, Pl. X, présente une coupe du ventilateur perpendiculaire à son axe projeté en o; soient, $decf$ le tuyau de dégagement; abc, $a'b'c'$, les circonférences de la roue et de l'ouverture centrale; ad l'excentricité de l'enveloppe. Si l'espace curviligne abd est construit de manière que la section normale à sa courbe moyenne, en chacun des points m de la circonférence de la roue, soit proportionnelle à l'arc am, suivant lequel l'air s'échappe du ventilateur, la vitesse du fluide pourra être considérée comme constante en chaque point de l'arc am, soit dans cet espace, soit entre les aubes de la roue.

3. *Construction de l'excentricité de l'enveloppe.* — Cherchons donc à déterminer la forme de la courbe ad ou de la courbe moyenne an' qui satisfait à cette condition. Soient mp, $m'p'$, deux sections normales à la courbe moyenne aux deux points consécutifs n et n'; $am = s$; $mm' = ds$; on peut prendre pour coordonnées

du point n, la longueur $mn = h$, et l'angle δ qu'elle forme avec le cercle en m; menant mq perpendiculaire à $m'p'$, on a

$$m'q = dh = ds \cos \delta.$$

Or par hypothèse, $2h = ks$, k étant une constante; d'où $\cos \delta = \frac{k}{2}$ et $h = s \cos \delta$.

Pour construire la courbe nn', il suffira donc de mener aux différents points de la circonférence, sous un angle constant, des droites égales aux produits du cosinus de cet angle par les arcs de cercle correspondants, et d'en joindre les extrémités par un trait continu. La courbe pp' se déduira facilement de cette construction.

L'angle δ se déterminera par la condition que l'ouverture maximum bt de l'espace excentrique, correspondant à l'arc $ab = S$, soit égale à une longueur donnée $2H$; on aura $\cos \delta = \frac{H}{S}$. Par exemple, dans le cas usuel où $S = 2\pi R$, $2H = \frac{R}{2}$, R étant le rayon du cercle, on a $\cos \delta = \frac{1}{8\pi}$, et $\delta = 87°,43',10''$.

Quant à l'inclinaison de la courbe pp' sur mp, elle s'obtiendra en menant pr perpendiculaire à $m'p'$, et remarquant que

$$\text{tang.}\, pp'r = \frac{pr}{p'r};$$

or

$$p'r = dh;\ pr = mq + h.\frac{ds}{R} = dh.\text{tang.}\,\delta + \frac{h}{R}.\frac{dh}{\cos.\,\delta};$$

d'où

$$\text{tang.}\, pp'r = \frac{\sin.\,\delta + \frac{h}{R}}{\cos.\,\delta}.$$

Le minimum de l'angle $pp'r$ sera δ et le maximum correspondra à $h = H$; dans le cas particulier examiné ci-dessus, on trouve 87°,44',45" pour ce maximum, et les sections normales à la courbe moyenne sont ainsi sensiblement perpendiculaires aux parois de l'espace *bda*. Si t est le point de *ap* correspondant au point b du cercle, le raccordement de cette courbe avec la face supérieure du tuyau de dégagement *de*, pourra se faire au moyen d'un petit arc de cercle décrit du point b comme centre avec un rayon égal à *bt*.

4. *Travail utile du ventilateur.* — Soient :

ρ le poids spécifique de l'air ;

α, α' les inclinaisons respectives de chaque aube sur les circonférences intérieure et extérieure ;

r, r' les rayons de ces circonférences ;

l la largeur du ventilateur ;

D la hauteur du tuyau *cdef* ;

V la vitesse de l'air dans le tuyau central de rayon r par où il est aspiré ;

m le coefficient de contraction correspondant ;

ω la vitesse angulaire de rotation ;

Q la dépense en volume ; l'air arrivant par les deux extrémités du tuyau central, on a $Q = 2m\pi r^2 V$;

$v = \frac{2m.\pi r^2 V}{Dl}$ la vitesse dans le tuyau *cdef* ;

v' la vitesse dans l'espace *bad* ;

p le rayon de l'orifice par lequel l'air s'échappe du tuyau *cdef* ;

μ le coefficient de contraction correspondant ;

ψ et φ les angles au centre qui correspondent aux arcs *ba* et *bc* ;

d l'ouverture *bd* de l'espace *bad*.

Le travail utile représenté par la demi-force vive de l'air à la sortie du tuyau sera

$$(1) \qquad 2\frac{\rho}{g}.Q.V^2.\frac{r^4}{p^4}.\frac{m^2}{\mu^2}$$

Le mouvement relatif de l'air dans le ventilateur, peut être considéré comme ayant lieu dans les tuyaux élémentaires, déterminés par des surfaces de même forme que les ailes, et infiniment rapprochées les unes des autres. Soient W et W′ les vitesses relatives d'entrée et de sortie de l'air dans chacun de ces tuyaux, que nous supposerons les mêmes pour tous les points des arcs d'entrée et de sortie.

5. *Perte de force vive à l'entrée dans le ventilateur.* — L'air, en pénétrant du tuyau central dans chaque tube élémentaire de l'appareil, passe plus ou moins brusquement de la vitesse horizontale V à une autre de grandeur et de direction différentes ; ce changement brusque de mouvement donne lieu, en certains points, à des tourbillonnements ; et comme il importe surtout dans la pratique d'obtenir un maximum de l'effet des résistances passives pour toute espèce de machine, nous supposerons que cette perte a lieu pour tous les filets fluides, et qu'elle est due à la vitesse perdue, hypothèse que nous étendrons également à la déperdition de travail relative à la sortie de l'air de la roue.

Le carré de la vitesse absolue du fluide à son entrée dans le ventilateur est

$$\omega^2 r^2 + W^2 + 2\omega W \cos. \alpha ;$$

par suite le carré de la vitesse perdue

$$y^2 = V^2 + \omega^2 r^2 + W^2 + 2\omega r W \cos \alpha.$$

La section droite de l'un des tubes élémentaires étant

$lr\sin.\alpha d\theta$, en désignant par θ l'angle que forme, avec la verticale, le rayon mené à son ouverture, on a

$$Q = 2m.V\pi r^2 = \int_0^{\varphi+\psi} lr\sin\alpha d\theta.W = lr\sin\alpha(\varphi+\psi)W;$$

d'où

$$W = \frac{2m.V\pi r}{l\sin\alpha(\varphi+\psi)};$$

la perte de force vive, relative à l'unité de temps, est donc

$$(2)\qquad \frac{\rho}{g}Qy^2 = \frac{\rho}{g}Q\left[V^2 + \omega^2 r^2 + \frac{2\pi r^2 V.m}{l(\varphi+\psi)}\left\{\frac{2m.\pi V(1+\cot^2\alpha)}{l(\varphi+\psi)} + 2\omega\cot\alpha\right]\right..$$

En faisant varier α entre 0 et 180°, cette expression varie elle-même en devenant $+\infty$ pour les deux limites; de sorte qu'elle est susceptible d'un minimum correspondant évidemment à une valeur négative de $\cot\alpha$, ou à une valeur de α comprise entre 90° et 180°. Cette valeur de $\cot\alpha$ est

$$(3)\qquad \cot\alpha = -\frac{l\omega(\varphi+\psi)}{2m\pi V},$$

qui, substituée dans (2), donne

$$(4)\qquad \frac{\rho}{g}Q\left[1 + \frac{4m^2\pi^2 r^2}{l^2(\varphi+\psi)^2}\right]V^2.$$

6. *Perte de force vive à la sortie du ventilateur.* — L'air passant brusquement de la vitesse u qu'il possède en quittant la partie bc du ventilateur à la vitesse v dans le canal supposé horizontal où il se rend, il en résulte une seconde perte de force vive que l'on peut évaluer ainsi. Comme dans le cas précédent, on a d'abord

$$u^2 = \omega^2 r'^2 + W'^2 + 2\omega r'W'\cos\alpha';$$

$$W' = \frac{2m\pi r^2.V}{lr'\sin\alpha'(\varphi+\psi)} = \frac{Q}{lr'\sin\alpha'(\varphi+\psi)}.$$

Si l'on projette u et ses deux composantes sur la direction horizontale de v, on a

$$u \cos(u, v) = \omega r' \cos\theta + W' \cos(\theta - \alpha'),$$

θ étant l'angle formé, avec la verticale, par le rayon mené à l'orifice de sortie du canal élémentaire considéré; le carré de la vitesse perdue est ainsi :

$$x^2 = u^2 + v^2 - 2uv \cos(u, v) =$$
$$u^2 + v^2 - 2v[\omega r' \cos\theta + W' \cos(\theta - \alpha')],$$

et l'on a pour la perte de force vive correspondant à l'arc bc :

$$\frac{\rho}{g}\int_0^{\varphi} x^2 W' l r' \sin\alpha' d\theta = \frac{\rho}{g}[(u^2 + v^2)\varphi -$$
$$2v\{\omega r' \sin\varphi + W'[\sin(\varphi + \alpha') + \sin\alpha']\}]W' l r' \sin\alpha'.$$

Le carré de la vitesse perdue, en un point de ab, est $v'^2 + u^2 - 2uv' \cos(u, v')$, mais on a, en projetant sur la tangente au cercle suivant laquelle est dirigée la vitesse v',

$$u \cos(u, v') = W' \cos\alpha' + \omega r';$$

le carré de la vitesse perdue devient par suite

$$v'^2 + u^2 - 2uv(W' \cos\alpha' + \omega r'),$$

et la force vive correspondante

$$\frac{\rho}{g}[v'^2 + u^2 - 2v'(W' \cos\alpha' + \omega r')] l W' r' \sin\alpha' . \psi.$$

Cette expression ajoutée à la précédente donne pour la perte totale

$$\frac{\rho}{g} Q \left[u^2 + \frac{v^2\varphi + v'^2\psi}{\varphi + \psi} - \frac{2v}{\varphi + \psi}\left\{\omega r' \sin\varphi +\right.\right.$$
$$\left.\left. W'[\sin(\varphi - \alpha') + \sin\alpha']\right\} - \frac{2v'}{\varphi + \psi}\left\{W' \cos\alpha' + \omega r'\right\}\psi\right];$$

or on a

$$v' l d = Q . \frac{\varphi}{\varphi + \psi}, \qquad v l D = Q,$$

ou, en remarquant que $D = d + 2r' \sin^2 \frac{\varphi}{2}$,

$$v' = v . \frac{D}{d} . \frac{\psi}{\varphi + \psi}, \qquad v' - v = \frac{Q}{Dl} \left\{ \frac{D}{d} \times \frac{\psi}{\varphi + \psi} - 1 \right\} =$$

$$\frac{Q}{Dl} \left\{ \frac{2r'\psi \sin^2 \frac{\varphi}{2} - \varphi d}{d . (\varphi + \psi)} \right\}.$$

Or, pour que le fluide en mouvement dans l'excentricité n'éprouve plus de perte de force vive à son entrée dans le tuyau, il faut que $v' < v$, ce qui se traduit par

$$d > \frac{D\psi}{\varphi + \psi} \quad \text{ou} \quad d > \frac{2r'\psi \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{\varphi};$$

condition que nous supposerons remplie, et qui l'est d'elle-même si φ ou ψ est nul.

Si dans l'expression ci-dessus on remplace u, v, v', W' par leurs valeurs, il vient, réductions faites,

$$(6) \quad \frac{\rho Q}{g} \left[\begin{array}{l} \omega^2 r'^2 + \frac{Q^2}{(\varphi+\psi) l^2} \left\{ \frac{\varphi}{D^2} + \frac{\psi^3}{(\varphi+\psi)^2} . \frac{1}{d^2} + \frac{1}{r'^2(\varphi+\psi)} - \right. \\ \left. \frac{4 \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{Dr'(\varphi+\psi)} \right\} - \left\{ \sin \varphi + \frac{\psi^2}{\varphi+\psi} . \frac{D}{d} \right\} \frac{2\omega r' Q}{(\varphi+\psi) Dl} + \\ \frac{Q^2 \cot^2 \alpha'}{(\varphi+\psi)^2 l^2 r'^2} - \frac{2Q}{lr'(\varphi+\psi)} \left\{ -\omega r' + \frac{Q}{(\varphi+\psi) Dl} \left\{ \sin \varphi + \right. \right. \\ \left. \left. \frac{D}{d} . \frac{\psi^2}{(\varphi+\psi)} \right\} \right\} \cot \alpha', \end{array} \right]$$

expression dont le minimum est donné par

$$(7) \quad \cot \alpha' = - \frac{\omega l r'^2 (\varphi+\psi)}{Q} + \frac{r'}{D} \left(\sin \varphi + \frac{D}{d} \frac{\psi^2}{\varphi+\psi} \right) =$$

$$\frac{r'^2}{r^2} \cot \alpha + \frac{r'}{D} \left(\sin \varphi + \frac{D}{d} \times \frac{\psi^2}{\varphi + \psi} \right).$$

Cette valeur substituée dans (6) donne

$$(8)\quad Q\frac{\rho}{g}V^2\times\frac{4m^2\pi^2r^4}{(\varphi+\psi)^2l^2}\left\{\frac{\varphi^2-\sin^2\varphi+\varphi\psi}{D^2}+\frac{1}{r'^2}+\right.$$

$$\left.\frac{\psi^3\varphi}{d^2(\varphi+\psi)^2}-\frac{4\sin^2\frac{\varphi}{2}}{Dr'}-\frac{2\psi^2\sin\varphi}{Dd(\varphi+\psi)}\right\}.$$

7. *Perte de force vive totale due aux changements brusques de mouvement.* — En ajoutant les expressions (4) et (8), on obtient pour cette perte :

$$(9)\quad \frac{\rho}{g}QV^2+\frac{\rho}{g}QV^2.\frac{4m^2\pi^2r^4}{l^2(\varphi+\psi)^2}\left[\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}+\psi\left\{\varphi\left(\frac{\psi}{d(\varphi+\psi)}-\frac{1}{D}\right)^2+\right.\right.$$

$$\left.\left.\frac{2\psi(\varphi-\sin\varphi)}{Dd(\varphi+\psi)}\right\}+\frac{\varphi^2-\sin^2\varphi}{D^2}-\frac{4\sin^2\frac{\varphi}{2}}{Dr'}\right].$$

8. *Conditions relatives à l'enveloppe.* — D'après la formule précédente, on voit que la forme de l'enveloppe a une influence marquée sur le rendement d'un ventilateur, et qu'en donnant à cette enveloppe une forme convenable, ou à φ et ψ certaines valeurs, il est possible de diminuer la valeur de l'expression (9). Or la recherche du minimum de cette expression, par rapport à φ et ψ, conduisant à la résolution d'équations transcendantes, a dû être abandonnée, d'autant plus qu'il est très-facile d'obtenir une valeur très-approchée de ce minimum.

En effet, si $\varphi=0$, l'expression (9) se réduisant à

$$\frac{\rho}{g}QV^2+\frac{\rho}{g}QV^2.\frac{4m^2r^4}{l^2\psi^2}\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}\right),$$

atteint son minimum pour $\psi=2\pi$, ce qui donne :

$$(10)\quad \frac{\rho}{g}QV^2.+\frac{\rho}{g}QV^2.\frac{m^2r^4}{l^2}\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}\right).$$

Le ventilateur présente alors la forme indiquée par la

Pl. X, *fig.* 12; ce minimum relatif diffère très-peu, comme nous allons le démontrer, du minimum absolu. Remarquons, en effet, que le coefficient en φ et ψ du second terme de l'expression (9), est supérieur à

$$\frac{1}{4\pi^2}\left[\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}-\frac{\varphi^2-\sin^2\varphi}{D}\left\{\frac{4\sin^2\varphi}{r'}-\frac{\varphi^2-\sin^2\varphi}{D}\right\}\frac{1}{\varphi^2-\sin^2\varphi}\right]$$

obtenue en supprimant dans ce coefficient, des termes essentiellement positifs et mettant au dominateur 2π au lieu de $\varphi+\psi$. Si l'on remplace, dans cette dernière expression, le terme en $\frac{1}{D}$ par son maximum par rapport à cette quantité, on aura *à fortiori*, pour limite inférieure du coefficient ci-dessus,

$$\frac{1}{4\pi^2}\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}-\frac{4\sin^2\frac{\varphi}{2}}{r'^2(\varphi^2-\sin^2\varphi)}\right)=$$
$$\frac{1}{4\pi^2}\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}-\frac{(1-\cos\varphi)^2}{r'^2(\varphi^2-\sin^2\varphi)}\right).$$

A cette limite, on peut substituer son minimum par rapport à φ qui correspond, comme il est facile de le reconnaître, à $\varphi=0$, et l'on obtient ainsi :

$$\frac{1}{4\pi^2}\left\{\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}-\frac{3}{4}\cdot\frac{1}{r'^2}\right\},$$

et par suite pour une limite inférieure de l'expression (9) :

$$\frac{\rho}{g}QV^2+\frac{\rho}{g}QV^2.\frac{m^2r^4}{l^2}\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}-\frac{3}{4}\cdot\frac{1}{r'^2}\right).$$

L'erreur relative commise, en prenant la formule (10) pour le minimum de (9), sera moindre que

$$\varepsilon=\frac{\frac{3}{4}\cdot m^2\cdot\frac{r^2}{l^2}\cdot\frac{r^2}{r'^2}}{1+m^2\cdot\frac{r^4}{l^2}\left(\frac{1}{r'^2}+\frac{3}{4}\frac{1}{r^2}\right)},$$

quantité généralement assez faible pour être négligée.

Supposons, par exemple, que $r = 0^m,20$, $r' = 0^m,50$, $l = 0^m,30$, dimensions d'un ventilateur établi dans un atelier de construction, on trouve, en prenant $m = 0,65$, $\varepsilon = \frac{1}{40}$ environ.

Ainsi, dans l'application, on devra employer une enveloppe complétement excentrique, conséquence qui s'accorde parfaitement avec les résultats généraux de l'expérience. Les formules (2) et (3) deviennent, en y supposant $\varphi = 0$, $\psi = 2\pi$,

$$(11) \qquad \cot \alpha = -\frac{l\omega}{mV};$$

$$(12) \quad \cot \alpha' = -\frac{r'^2}{r^2}\frac{l\omega}{mV} + \frac{2\pi r'}{d} = \frac{r'^2}{r^2}\cot\alpha + \frac{2\pi r'}{d}.$$

9. *Coefficient d'effet utile d'un ventilateur construit dans les meilleures conditions.*

Représentons par $\frac{1}{2}\cdot\frac{\rho}{g}QV^2F$ le travail existant correspondant aux frottements éprouvés par le fluide dans le tuyau de dégagement, F se déterminera dans chaque cas particulier, lorsque l'on connaîtra la longueur de ce tuyau. Le travail moteur nécessaire à la production du travail utile, représenté par l'expression (1), sera, en négligeant les effets de la pesanteur :

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{\rho}{g}QV^2\left\{4\,\frac{m^2}{\mu^2}\cdot\frac{r^4}{p^4} + 1 + m^2\cdot\frac{r^4}{l^2}\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}\right) + F\right\},$$

et l'on aura pour le coefficient d'effet utile :

$$\frac{4\cdot\frac{m^2}{\mu^2}\cdot\frac{r^4}{p^4}}{4\cdot\frac{m^2}{\mu^2}\cdot\frac{r^4}{p^4} + 1 + m^2\cdot\frac{r^4}{l^2}\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r'^2}\right) + F}$$

10. *Règles à suivre pour établir un ventilateur.* — L'effet utile que l'on veut produire sera généralement donné par l'orifice d'échappement et la dépense de l'air par seconde, d'où résultera une relation entre les divers éléments r, r', l, ω, V, de l'appareil projeté ; il en sera ordinairement de même de r, r', ω, qui ne laisseront ainsi subsister que la seule indéterminée l. Or, de deux choses l'une, ou la largeur l, subordonnée au dispositif de l'appareil, sera donnée; ou l'on pourra disposer de son indétermination pour attribuer une valeur convenable à l'angle d'entrée α.

Dans le premier cas, les angles d'entrée et de sortie α et α' résulteront des dimensions du ventilateur, et conduiront généralement à admettre pour les ailes une forme courbe, par exemple, celle d'un arc de cercle.

Dans le deuxième cas, on choisira α de manière que les ailes soient planes, et on calculera ensuite, au moyen de l'équation (11), la largeur correspondante l; il faudra toujours chercher à se placer dans cette condition, de manière à arriver à la construction la plus simple et la plus économique du ventilateur : c'est ce problème que nous allons maintenant résoudre.

11. *Construction du ventilateur à ailes planes.* — Le problème consiste à déterminer les angles α et α' au moyen de l'équation (12) jointe à la relation

$$(13) \qquad \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} = \frac{r'}{r},$$

exprimant que les ailes doivent être planes. Or l'équation en $\cot\alpha$, par exemple, à laquelle on est conduit par l'élimination de α', est du quatrième degré et ne peut être d'aucune utilité pratique; aussi avons-nous dû substituer à cette méthode la construction géométrique suivante.

L'équation (12) mise sous la forme

$$(14)\quad r\cot\alpha' = r'\cot\alpha.\frac{r'}{r} + \frac{2\pi r'}{d} = r'\cot\alpha\frac{r'}{r} + \frac{r'}{0,16d}.r$$

représente une droite dont $r\cot\alpha'$ et $r'\cot\alpha$ seraient l'ordonnée et l'abscisse. D'un autre côté, si l'on construit la courbe ayant respectivement pour ordonnées et abscisses les valeurs de $r\cot\alpha'$ et $r'\cot\alpha$, relatives à toutes les ailes planes que l'on peut inscrire entre les deux circonférences limites du ventilateur, son intersection avec la droite ci-dessus nous donnera les valeurs cherchées de α et α'; on est donc ramené à construire ces deux lieux géométriques.

Soient (*fig.* 13), le centre des deux circonférences de rayons $oa = r'$, $od = r$; oe le rayon perpendiculaire à oa, rencontrant ces circonférences en e et j. Je prends sur oe, $on = 0,16d$, je joins nd, et je mène par le point e une parallèle à cette droite qui rencontre oa prolongée au point q; les triangles semblables donnent

$$oq = \frac{rr'}{0,16d};$$

or en élevant en j la perpendiculaire $jr = r'$ à oe, on a $\tang roj = \frac{r'}{r}$; d'où il résulte que, si les ordonnées et abscisses positives sont respectivement comptées de o vers a et de o vers e, la droite représentée par l'équation (14) s'obtiendra en menant par le point q la parallèle qx à or.

Soient maintenant cd une aile plane quelconque, of sa parallèle menée par le point o et terminée à la tangente en a à la circonférence extérieure; on a angle $eof = \alpha'$, et $af = -r'\cot\alpha$; je mène la tangente bh au point b où co rencontre la circonférence inté-

rieure, en la terminant à son intersection h avec of. Enfin, si je prolonge d'une longueur $gm = bh$, la perpendiculaire abaissée du point f sur eo, on obtiendra un point m du deuxième lieu géométrique gmx, dont l'on construira ainsi très-facilement autant de points que l'on voudra.

La tangente menée à cette courbe au point o, se construira très-simplement, si l'on remarque que, en vertu de la relation (13), on a pour le rapport de l'ordonnée à l'abscisse :

$$\frac{r \cot \alpha'}{r' \cot \alpha} = \frac{r}{r'} \frac{\cos \alpha'}{\cos \alpha} \cdot \frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha} = \frac{r^2}{r'^2} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'},$$

qui donne, en y faisant $= \alpha' = 90°$, pour le coefficient angulaire de cette tangente, $\frac{r^2}{r'^2}$. Cela posé, je mène jk parallèle à de, les triangles semblables donnent $ok = \frac{r^2}{r'^2}$, d'où il résulte que la tangente ot s'obtiendra en élevant en e la perpendiculaire $el = ok$ à eo, et joignant ol.

Soit x le point de rencontre de la courbe omx avec la droite qx; il est manifeste que l'aile plane qu'il s'agit de construire s'obtiendra en menant, par le point d, une parallèle dz à la droite qui joint le point o à la projection y de x sur la tangente af.

La *fig.* 13 a été construite avec les données indiquées plus bas, à l'échelle de 0m,038 pour 1 mètre; en général, la droite ot différera assez peu de la courbe omx pour qu'on puisse la substituer à cette dernière dans les applications; les valeurs de α et α' qui en résulteront seront données par l'équation (14) jointe à la suivante :

$$\cot \alpha' = \frac{r}{r'} \cot \alpha,$$

qui représente ot; l'élimination conduit aux formules

$$(15)\qquad \left\{\begin{aligned} \cot\alpha &= \frac{-r'}{0,16\left(\frac{r'^2}{r^2}-\frac{r}{r'}\right)} \\ \cot\alpha' &= \frac{-r}{0,16\left(\frac{r'^2}{r^2}-\frac{r}{r'}\right)}, \end{aligned}\right.$$

qui sont d'une application tout à fait pratique.

Le nombre des ailes doit être assez grand pour que l'hypothèse admise sur le mouvement de l'air entre deux quelconques d'entre elles se réalise sensiblement; mais il ne doit pas dépasser une certaine limite à partir de laquelle les frottements prendraient une importance inadmissible; l'expérience paraît indiquer que ce nombre doit être compris entre 6 et 16.

Pour le ventilateur cité au n° 8, on a $r' = 0,50$, $r = 0,20$, $d = 0,30$, $Q = 3^{mc}$, $\omega = 2\pi.30$; d'où l'on déduit $\alpha = 150°$, $\alpha' = 110°$, c'est-à-dire que les ailes forment avec le rayon un angle de 60° à l'entrée, et de 20° à la sortie; puis on trouve $l = 0^m,14$.

Le travail utile s'élevant ici à 450^{km}, le coefficient d'effet utile est, en négligeant les frottements, égal à 0,99.

L'appareil qui nous a fourni les données ci-dessus, diffère essentiellement de celui qui résulte de notre discussion; son enveloppe n'étant pas du tout excentrée, et sa construction n'ayant été dirigée par aucune considération théorique, il n'a pu nous servir, comme auraient pu le faire la plupart des ventilateurs établis en Alsace, qui sont généralement entourés d'une enveloppe complétement excentrique, à vérifier la théorie que nous venons d'exposer. Espérons que des expériences futures viendront démontrer l'exactitude de nos considérations théoriques.

Du ventilateur employé comme machine aspirante.

12. En conservant les notations précédentes, la perte de force vive de l'air, due à son entrée dans le ventilateur, s'estimera comme au n° 5, en supposant $\varphi + \psi = 2\pi$, et remplaçant V par $\frac{1}{2}$ V, puisque l'air n'entre que d'un seul côté dans l'appareil, les formules (3) et (4) deviennent ainsi :

$$(16) \qquad \cot \alpha = -\frac{l\omega}{2mV}$$

$$(17) \qquad \frac{1}{4} \cdot \frac{\rho}{g} Q \left(1 + \frac{m^2 r^2}{l^2}\right) V^2.$$

Le carré de la vitesse à la sortie est

$$\omega r'^2 + W'^2 + 2\omega r' W' \cos \alpha',$$

et la force vive correspondante, en remarquant que

$$W' = \frac{Q}{2\pi l r' \sin \alpha'} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m r^2}{l r' \sin \alpha'} V,$$

$$\frac{\rho}{g} Q \left\{ \omega^2 r'^2 + \frac{1}{4} \cdot \frac{m^2 r^4 V^2}{l^2 r'^2} (1 + \cot^2 \alpha) + \frac{\omega r^2 V}{2l} \cot \alpha \right\}.$$

Cette force vive venant s'ajouter au travail utile à produire, doit être rendue minimum ; on trouve pour la valeur correspondante de $\cot \alpha$ et ce minimum,

$$(18) \qquad \cot \alpha' = -\frac{l\omega}{2mV} \cdot \frac{r'^2}{r^2} = \frac{r'^2}{r^2} \cot \alpha,$$

$$(19) \qquad \frac{\rho}{g} Q \cdot \frac{m^2 r^4 V^2}{4 l^2 r'^2}.$$

La perte totale de force vive, due aux changements brusques de mouvement, sera donc exprimée par

$$(20) \qquad \frac{\rho}{g} \cdot Q \cdot \frac{1}{4} \left(1 + \frac{m^2 r^2}{l^2} + \frac{m^2 r^4}{l^2 r'^2}\right) V^2.$$

Nous terminerons en remarquant que l'emploi d'ailes planes est impossible ici, car l'équation (18) est incompatible avec la relation $\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'} = \frac{r'}{r}$, qui exprime que cette condition doit être remplie.

MÉMOIRE

SUR LE TERRAIN ANTHRAXIFÈRE DES ALPES (1) DE LA FRANCE ET DE LA SAVOIE.

Par M. Scipion GRAS, ingénieur en chef des mines.

On doit distinguer dans le massif des montagnes qui composent les Alpes occidentales deux chaînes principales qui, se détachant toutes deux du mont Blanc, suivent à partir de là des directions différentes. La première court à peu près du nord au sud en faisant plusieurs sinuosités, et sert de frontière au Piémont depuis le col de la Seigne jusqu'au mont Viso. La seconde se dirige du nord-est au sud-ouest, et s'étend en ligne droite depuis le col du Bonhomme jusqu'aux environs de Grenoble. Là elle forme un coude vers le sud-est, et va se lier aux montagnes de l'Oisans et des environs de Vallouise, dont fait partie le mont Pelvoux. L'intérieur de l'angle formé par ces deux chaînes comprend une contrée très-montagneuse dont les principales vallées sont celles de la haute Isère, de l'Arc, de la Guisanne, de la Clarée et de la haute Durance. Les deux premières, les plus importantes par leur longueur et le nombre des vallées secondaires qui y aboutissent, sont nommées la Tarentaise et la Maurienne ; elles font partie de la Savoie. Les autres, moins étendues, appartiennent à la région nord-est du département des

Limites du pays décrit; aspect physique.

(1) Nous entendons par terrain anthraxifère des Alpes toutes les couches de sédiment de cette contrée qui sont contemporaines de dépôts d'anthracite avec restes de végétaux houillers ou antérieures à ces mêmes dépôts.

Hautes-Alpes. Le système de couches qui constitue ces vallées se distingue par son épaisseur prodigieuse, par la diversité de ses roches, par la présence de nombreux gîtes d'anthracite, et surtout par l'alternance et l'association intime de coquilles fossiles propres au lias, et de restes de végétaux caractéristiques de l'époque houillère. L'aspect du pays est également remarquable. Les cimes élevées qui hérissent sa surface frappent par un grand désordre, dû à la fois aux dislocations violentes du sol et aux altérations métamorphiques des roches. Ces altérations ont produit un mélange irrégulier de parties dures et de parties tendres, qui, joint à la grande inclinaison des couches, a donné naissance à de longues aiguilles, à des pics élancés et à des crêtes aiguës qui rappellent les cimes déchirées des terrains de gneiss et de micaschiste (1).

Travaux antérieurs.

Malgré tout l'intérêt scientifique qu'offre ce pays, il est resté jusqu'à présent peu connu. Cependant plusieurs géologues distingués, parmi lesquels on doit citer surtout MM. Brochant, Élie de Beaumont et Sismonda, s'en sont occupés spécialement. Mais ces observateurs paraissent avoir eu pour but plutôt de fixer son âge géologique que de le décrire avec détails. M. Brochant, dans son mémoire sur la Tarentaise (2), a montré que les grès à anthracite avec empreintes végétales de cette contrée ne pouvaient pas être séparés des calcaires grenus et des autres roches cristallines qui leur

(1) Voyez, pour plus de détails sur l'aspect physique de cette partie des Alpes une note de nous ayant pour titre : *Introduction à un essai sur la constitution géologique des Alpes centrales de la France et de la Savoie.* (Bulletin de la Société géologique, 2e série, t. I, p. 690.)

(2) *Observations géologiques sur les terrains de transition qui se rencontrent dans la Tarentaise*, etc. (Journal des mines, t. XXIII, p. 321.)

sont associées. En conséquence, il a rapporté à la période de transition l'ensemble de ces roches qu'avant lui on considérait comme primitives. M. Élie de Beaumont (1), dont les excellentes observations nous ont servi de guide, s'est appliqué à prouver que toute la série des couches anthraxifères avait pour base des schistes argilo-calcaires renfermant des ammonites et des bélemnites liassiques, et que la date géologique de cette base étant ainsi fixée, le terrain en entier ne pouvait pas être plus ancien que l'époque jurassique. M. Sismonda (2) adoptant comme point de départ l'opinion de M. Élie de Beaumont, que les schistes à bélemnites situés à la base du système anthraxifère correspondaient au lias, en a conclu naturellement que les autres membres du groupe jurassique, tels que l'oolite inférieure, l'Oxford-clay, le coralrag et le portlandien, devaient avoir leurs représentants dans le reste du terrain. Pour les trouver, il a fait des coupes plus ou moins étendues sur plusieurs points, et a subdivisé ensuite la série des couches observées en un certain nombre de formations qu'il a assimilées, d'après leur ordre de succession, aux divers étages jurassiques nommés plus haut. Les divisions adoptées par M. Sismonda, considérées indépendamment de toute classification théorique, coïncident en partie avec celles que nous avions nous-même établies avant d'avoir pu connaître le travail du savant géologue piémontais. Cet accord a été pour nous une preuve de plus que la longue série des couches anthraxifères était réellement divi-

(1) *Note sur un gisement de végétaux fossiles et de bélemnites, situé à Petit-Cœur*, etc. (Annales des Sciences naturelles, 1re série, t. XIV, p. 113), et *sur un gisement de végétaux fossiles et de graphite, situé au col du Chardonnet*, etc. (Même Recueil, t. XV, p. 353.)

(2) *Mémoires de l'Académie de Turin*, t. III, 2e série.

sible en plusieurs groupes naturels que l'on devra toujours distinguer, quel que soit d'ailleurs l'âge qu'on leur assigne.

But de ce mémoire.

Dans ce mémoire, nous nous sommes proposé de décrire avec détails les divers groupes de la série anthraxifère, d'indiquer leur position relative et leur distribution géographique, sans chercher à fixer leur place dans l'échelle générale des terrains. Ainsi qu'on le sait déjà et qu'on le verra encore par notre travail, le système anthraxifère des Alpes s'écarte notablement par ses caractères de tous les terrains auxquels on voudrait l'assimiler ; il paraît dès lors rationnel qu'avant de chercher à préciser son âge géologique, on réunisse autant que possible tous les faits propres à le bien faire connaître. Dans ce but, nous nous sommes livré pendant un grand nombre d'années à des recherches que des difficultés particulières ont rendues longues et pénibles.

Difficultés des observations ; méthode suivie.

Dans la plupart des formations situées hors des Alpes, on peut s'aider des caractères minéralogiques des roches pour reconnaître, au moins dans un rayon peu étendu, celles qui sont du même âge. Les fossiles surtout sont d'un grand secours pour classer les couches, bien que l'on ne doive pas y ajouter une foi trop absolue. Ces secours nous ont manqué pour l'étude du terrain anthraxifère. Les divers groupes de ce terrain, quand ils n'ont pas subi les atteintes du métamorphisme, ont entre eux trop de ressemblance pour que l'on puisse les distinguer au simple aspect. Lorsque les roches ont été altérées, les difficultés sont encore plus grandes, parce que les mêmes couches deviennent alors méconnaissables à de petites distances. Quant aux restes organisés, ils consistent en quelques coquilles fossiles, d'ailleurs très-rares, et en empreintes végétales plus

nombreuses ; mais comme les unes se rapportent exclusivement au lias, et les autres non moins exclusivement à la flore houillère, elles tendent à séparer géologiquement ce que les observations les plus positives démontrent au contraire devoir être réuni ; en sorte qu'au lieu d'avoir recours aux indications paléontologiques, on doit se mettre en garde contre elles.

N'ayant pu nous servir avec sûreté ni des caractères minéralogiques ni des fossiles pour connaître les relations de position des diverses assises du terrain anthraxifère, nous avons eu recours à l'observation directe de la superposition et de la continuité des couches, qui est bien certainement, et dans tous les cas possibles, la meilleure méthode pour les observations géologiques, pourvu qu'on l'emploie avec les précautions convenables (1). Après avoir acquis par des explora-

(1) Quelques géologues ont prétendu que les couches étant très-disloquées dans les Alpes, il n'était pas possible de déterminer leur âge relatif par l'observation de la superposition. Si une pareille assertion était vraie, il en résulterait qu'en suivant sur une grande étendue la ligne de jonction de deux formations alpines, on devrait voir l'une des deux tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de l'autre ; en sorte qu'après le trajet, quelque long qu'il fût, l'incertitude sur leur position relative serait aussi grande que si les observations n'avaient été faites que sur quelques points Nous pouvons affirmer positivement que cela n'a pas lieu dans la partie des Alpes que nous avons étudiée, quoiqu'elle soit certainement une des plus tourmentées. Lorsqu'on s'attache à suivre, même sur une longueur médiocre, deux groupes de couches dont la ligne de contact est visible, le nombre des points où la superposition de l'un des groupes sur l'autre est claire et à l'abri de toute contestation l'emporte tellement sur ceux où elle est obscure, qu'il ne reste pas de doute sur leurs véritables relations géologiques. Il y a cette différence entre un pays dont les couches n'ont pas été dérangées et celui où elles ont été bouleversées, que dans le premier une seule observation peut suffire pour fixer l'âge relatif de deux terrains, tandis que dans le second

tions préliminaires une connaissance générale de la partie des Alpes que nous avions à étudier, nous avons choisi la région où la série des couches était complète et en même temps susceptible d'être observée sans trop de difficultés. Marchant alors dans une direction perpendiculaire à celle de la stratification, nous avons fait avec tout le soin dont nous étions capable la coupe générale de la contrée. Cette coupe fondamentale, vérifiée à plusieurs reprises, nous a fait connaître que le terrain anthraxifère, pris dans son ensemble, était formé d'un très-grand nombre d'assises distinctes très-épaisses, se succédant régulièrement, et composées alternativement, les unes de calcaire compacte ou grenu, les autres de roches arénacées remplacées quelquefois par des marnes et des schistes argilo-calcaires. Ce premier fait étant bien constaté, nous avons considéré séparément les diverses assises calcaires, et nous avons suivi chacune d'elles dans toute l'étendue de la Savoie et des Hautes-Alpes. En exécutant cette entreprise, nous avons eu à lutter plutôt contre des obstacles physiques que contre des difficultés d'observation; car les bancs calcaires dont nous poursuivions le prolongement étant partout compris entre deux groupes de couches arénacées ou marneuses, étaient par cela même faciles à distinguer. D'un autre côté, les bouleversements du sol ayant mis leurs tranches parfaitement à découvert, on pouvait les suivre de très-près, quelquefois sans cesser de les toucher. Seulement il fallait faire

---

il en faut souvent plusieurs, et en général d'autant plus que les bouleversements ont été plus considérables; mais ce n'est là qu'une affaire de temps, de soins et de fatigues, et en définitive on peut toujours arriver à une certitude suffisante, supérieure, à notre avis, à celle que donnerait la considération exclusive des fossiles.

abstraction de tout chemin, et traverser les montagnes presque à vol d'oiseau. Lorsque des glaciers ou d'autres obstacles insurmontables nous ont forcé à les perdre momentanément de vue, nous avons pu encore marcher constamment, tantôt sur le groupe arénacé immédiatement supérieur, tantôt sur l'inférieur, en passant de l'un à l'autre, afin de couper le calcaire compris entre deux et de vérifier sa continuité. Nous sommes parvenu ainsi à déterminer sur le terrain de longues lignes d'affleurements calcaires, véritables courbes de niveau géologique. Ces lignes ont été ensuite reliées entre elles par de nombreuses coupes transversales qui nous ont fait connaître, sur des points très-éloignés, les variations d'épaisseur et de caractères minéralogiques des diverses assises et leurs relations géologiques. Ces coupes, indépendantes les unes des autres et se servant de vérifications mutuelles, nous ont offert une telle concordance qu'il ne nous est resté aucun doute sur l'exactitude des résultats auxquels nous étions parvenu.

Division du mémoire.

En nous fondant sur l'ensemble de nos observations, nous avons partagé la série totale des couches anthraxifères en deux terrains principaux que nous avons nommés l'un inférieur et l'autre supérieur, et nous avons subdivisé ce dernier en quatre étages successifs que nous avons distingués également par leur numéro d'ordre. Pour rendre compte des faits qui nous ont conduit à cette division, nous suivrons à peu près la même marche que pour nos études sur le terrain. Ainsi nous donnerons d'abord avec détails la coupe générale de la série anthraxifère, en indiquant les limites des divers groupes que nous y avons établis et les raisons à l'appui. Cet exposé formera la première partie de notre mémoire. Dans la seconde, nous sui-

vrons le prolongement des divers étages dans toute l'étendue du pays que nous avons embrassé, et nous ferons connaître leurs principaux caractères en y joignant la description particulière des localités les plus intéressantes. Enfin, dans un résumé général, nous ferons ressortir les traits les plus distinctifs du système anthraxifère pris dans son ensemble, ainsi que les différences qui le séparent du terrain jurassique.

PREMIÈRE PARTIE.

COUPE GÉNÉRALE DES COUCHES ANTHRAXIFÈRES ET LEUR DIVISION EN PLUSIEURS GROUPES.

Direction à suivre pour la coupe générale des couches anthraxifères.

Il n'est aucune partie des Alpes où l'on puisse faire une étude plus complète et plus commode du terrain anthraxifère qu'entre la Grave et Oulx (Piémont). Pour aller du premier de ces points au second par le chemin qui s'écarte le moins de la ligne droite, il faut suivre la grande route du Bourg-d'Oisans à Briançon, depuis la Grave jusqu'au Lauzet, hameau du Monestier; monter ensuite dans le vallon de la Ponsonnière et gravir la montagne du Chardonnet, pour atteindre un col assez élevé par lequel on descend à Névache et à Plampinet dans la vallée de la Clarée. Arrivé à ce dernier village, on suit le vallon des Acles jusqu'à son extrémité la plus élevée, qui aboutit à la frontière du Piémont. On trouve sur cette frontière deux cols voisins, celui de l'Ours, qui conduit dans la vallée de Bardonèche par Château-Boulard, et celui de Désertes, par lequel on descend dans la vallée de Césane. Quel que soit celui de ces cols que l'on franchisse, on arrive bientôt à Oulx, situé à la jonction des deux vallées. En faisant ce trajet, dont la longueur est d'environ 60 kilomètres,

on coupe à très-peu près perpendiculairement à leur direction, et à deux reprises différentes, la série complète des couches anthraxifères. De la Grave au sommet du Chardonnet, on marche successivement sur les divers étages, depuis le plus bas jusqu'au plus élevé. A partir du Chardonnet, on parcourt de nouveau la même série, mais en sens inverse jusqu'à ce que l'on soit arrivé à Oulx, où l'on retrouve des couches correspondantes à celles de la Grave. Les escarpements entièrement nus qu'offrent les montagnes de cette partie des Alpes et les ravins profonds qui les découpent, en mettant à découvert sur une grande longueur les tranches des diverses assises, montrent avec évidence leurs relations mutuelles. Ces circonstances favorables permettent de constater avec toute la rigueur désirable la suite des superpositions que nous allons indiquer.

Le terrain le plus ancien des environs de la Grave est formé de gneiss talqueux, d'eurite et de leptinite. Ces roches constituent les parois d'une gorge âpre et sauvage nommée Malval, dans laquelle coule la Romanche à son entrée dans le département de l'Isère. Lorsqu'en remontant cette gorge on arrive aux Freaux, hameau de la Grave, l'horizon s'élargit tout à coup. Les montagnes qui bordent la vallée, devenues moins abruptes, offrent à leur partie inférieure des champs cultivés, et à lour sommet de vastes pâturages. Ce nouvel aspect correspond à un changement complet dans la nature des roches. Ici, en effet, commence une série de schistes ardoisiers d'une grande épaisseur, formant la partie la plus basse du système anthraxière. Ces schistes reposent immédiatement sur le terrain talqueux, tant sur la rive droite que sur la rive gauche de la Romanche. La première couche que l'on observe sur la rive droite, au-dessus d'une masse de gneiss et de leptinite mal

Roches des environs de la Grave.

stratifiée, est un banc de calcaire grenu, massif, d'épaisseur inégale, souvent pénétré de quartz et de talc, qui paraît comme soudé sur la surface des roches feldspathiques. A ce banc en succèdent plusieurs autres de calcaire également grenu, mais mieux stratifié, qui frappent de loin par leur teinte jaunâtre. Leur épaisseur totale est de 8 à 10 mètres. Puis viennent des calcaires marneux feuilletés renfermant un grand nombre de bélemnites trop peu entières pour être déterminées spécifiquement. Ces marnes fossilifères servent de base à une longue série de schistes argilo-calcaires noirs très-fissiles, fréquemment traversés par des veines et de petits filons de quartz mêlé de chaux carbonatée spathique. On y trouve accidentellement des substances métalliques, telles que du fer sulfuré, du cuivre gris, du cuivre pyriteux et de la galène. Ces schistes s'étendent sans discontinuité depuis la Grave jusqu'au col du Lautaret, et sur toute cette longueur on observe qu'ils sont dirigés à peu près vers le N.-O., en s'approchant de plus en plus de la ligne O.-N.-O. Ils plongent constamment vers la région N.-E. avec une inclinaison variable qui peut être estimée moyennement à 15°.

Division des schistes argilo-calcaires en quatre assises.

Lorsqu'on examine avec attention la configuration extérieure de ce puissant système de couches, dont l'épaisseur totale n'est pas moindre de 800 à 900 mètres, on voit qu'il se divise naturellement en quatre assises qui s'échelonnent les unes au-dessus des autres, en offrant toutes une constitution semblable, savoir : à leur base des schistes argileux noirs très-friables, et à leur partie supérieure des schistes calcaires plus solides, ordinairement traversés par une multitude de veines et de filons quartzeux. Ces dernières couches forment en général des plans inclinés couverts de culture, sur les-

quels on a bâti les différents villages qui composent la commune de la Grave.

La première de ces assises est celle qui repose immédiatement sur le terrain talqueux près des Freaux, et dont la base renferme des bélemnites. Sa partie la plus élevée forme un plan incliné de 15 à 20 degrés, sur lequel se trouve le village de la Terrasse, et plus bas celui de la Grave.

Cette assise s'enfonce sous une autre moins épaisse, dans la masse de laquelle a été taillée la portion de la grande route de Briançon qui suit immédiatement le village de la Grave. Le haut de ce système, où abondent les veines de quartz et de spath calcaire, supporte le village de Ventelon.

La troisième assise, évidemment superposée à la seconde, commence par des schistes argilo-calcaires sur la pente desquels on a bâti le hameau des Hières. A ces schistes en succèdent d'autres plus riches en carbonate de chaux et mieux stratifiés, qui forment au nord du village un escarpement au-dessus duquel s'étendent de vastes pâturages. Les couches supérieures de la troisième assise se prolongent vers le sud-est en conservant partout une dureté plus grande que celle des schistes environnants, et viennent couper la Romanche un peu au-dessous du Villard-d'Arène, précisément au point où ce torrent a été barré par un mur de chute.

Sur les couches précédentes repose une grande épaisseur de schistes argilo-calcaires très-friables appartenant à la quatrième assise. Ces schistes, que l'on suit sans discontinuité jusqu'au sommet du col du Lautaret, constituent les terres cultivées et les pâturages situés au-dessus du Villard-d'Arène. Au nord de ce village, ils servent de base à une haute montagne nommée le pic des *Trois-Évêchés*, qui domine à gauche la route du Lau-

taret. Si l'on se dirige vers cette montagne, on marche d'abord sur les tranches des schistes argileux qui, à raison de leur friabilité, présentent des surfaces arrondies. La pente devient ensuite plus roide, et l'on observe, en continuant à monter, plusieurs couches de calcaire gris à cassure compacte, alternant avec les schistes argilo-calcaires et intimement liés avec eux. Puis vient un banc de spilite verdâtre épais de 3 mètres, associé à du gypse et à du calcaire altéré, de couleur jaunâtre, en partie dolomitique. A ces roches d'origine métamorphique succède une assez grande épaisseur d'un calcaire schisteux, à texture en général grenue, dont les strates se répètent un grand nombre de fois. Ces bancs calcaires, plus solides et mieux stratifiés qu'aucun de ceux dont nous avons parlé jusqu'à présent, terminent la quatrième assise, et en même temps toute la série des schistes argilo-calcaires des environs de la Grave.

Limite supérieure du terrain anthraxifère inférieur.

Les dernières couches dont nous venons de parler, et que nous désignerons à l'avenir par le nom de calcaire des *Trois-Évêchés*, se trouvent à peu près à mi-hauteur de cette montagne. Le reste de la sommité est formé d'un puissant groupe de roches arénacées consistant principalement en schistes argileux noirs non effervescents, en grès quartzeux à petits grains et en psammites schistoïdes avec indices d'anthracite, dont l'ensemble présente une épaisseur totale de 200 à 300 mètres. Ces roches, si différentes par leur nature des précédentes, reposent en stratification transgressive sur le calcaire des *Trois-Évêchés*. Pour observer ce fait d'une manière commode, il faut suivre la ligne de jonction des deux groupes du côté du vallon des Hières, où ils sont coupés à pic à peu près perpendiculairement à la stratification, en offrant les relations géologiques suivantes. Le

dernier banc calcaire forme un plan incliné très-net, en partie dénudé, sur lequel s'appuient immédiatement les schistes argileux suivis de grès quartzeux. Ces dernières roches, assez bien stratifiées, ont une inclinaison visiblement différente de celle du calcaire. Il en résulte que vers le sommet de l'angle formé par la rencontre des deux inclinaisons, les schistes argileux n'ont qu'une épaisseur de quelques mètres; mais à mesure que l'on descend, on voit leur puissance s'accroître rapidement par l'addition de couches inférieures. Comme tous les strates argileux sont parfaitement parallèles et à peu près d'égale épaisseur, ils sont nécessairement coupés en biseau par le plan incliné calcaire, dont la continuité est d'ailleurs évidente. Sur d'autres points, dans la Maurienne et dans la Tarentaise, les mêmes systèmes de roches, observés dans leur prolongement, paraissent également indépendants l'un de l'autre. Enfin, si l'on compare dans leur ensemble les couches situées au-dessous du calcaire des *Trois-Évêchés*, pris comme horizon géologique, avec celles qui lui sont supérieures, on remarque entre elles des différences notables. Une des principales est que les premières, dont l'extension est immense, ont formé les parois d'un bassin relativement beaucoup plus petit dans l'intérieur duquel les secondes se sont déposées: ce qui indique deux époques géologiques bien distinctes. Pour ces diverses raisons, nous avons fait du calcaire des *Trois-Évêchés* la limite supérieure du terrain anthraxifère inférieur, l'une des grandes divisions que nous avons établies.

Du col du Lautaret aux chalets de la Mendette: 1er étage du terrain anthraxifère supérieur.

Lorsqu'on a atteint l'assise calcaire des *Trois-Évêchés*, si l'on veut observer commodément dans leur ensemble les roches arénacées qui viennent après, il ne faut pas chercher à gravir le reste de la montagne qui est inaccessible, mais on doit se diriger vers l'est-sud-est en mar-

chant sur le prolongement des couches. La tranche de l'assise calcaire s'abaisse visiblement de ce côté, et en suivant sa trace rendue visible par les roches altérées spilitiques et gypseuses qu'elle renferme, il est facile de s'assurer qu'elle va passer à 200 mètres environ au nord de l'hospice du col du Lautaret. Pour bien étudier la suite des couches qui succèdent à ce calcaire schisteux, il faut, à partir de ce point, se détourner un peu de la grande route et se diriger à travers les pâturages vers le col du Galibier jusqu'à ce que l'on ait atteint un groupe de chalets nommé *la Mendette*. Les premières roches que l'on rencontre sont des schistes argileux tendres dont on ne peut voir que quelques affleurements, le reste de leur surface étant gazonné; puis viennent des grès quartzeux et des psammites alternant ensemble un grand nombre de fois. Ce système de grès est évidemment le prolongement direct de celui qui est superposé au calcaire des *Trois-Évêchés*, en face du Villard-d'Arène. Plus au nord-ouest, les mêmes grès constituent le flanc droit du vallon de Goléon, ainsi qu'une sommité très-élevée connue dans le pays sous le nom de *Pic-de-Grenier* (1). Depuis cette sommité jusqu'au col du Lautaret, on les voit très-clairement reposer sur le terrain anthraxifère inférieur. Ils s'enfoncent ensuite sous des schistes argileux et des grès micacés friables dans le sein duquel a été creusé un petit vallon situé au nord du Lautaret, derrière l'arête de rocher formée par les grès quartzeux précédents. C'est dans ce vallon que le torrent de la Guisanne prend sa source. La surface du sol y est en grande partie gazonnée. Cependant on peut facilement reconnaître sa nature géo-

(1) Sur la plupart des cartes, cette cime porte le nom de mont Goléon. Sa hauteur au-dessus du niveau de la mer est de 3.429 mètres.

logique à l'aide d'affleurements de roches en saillie qui se prolongent sur une grande longueur. Sur la gauche du torrent, les dernières couches, formées de grès quartzeux, sont plus dures que les autres et présentent des escarpements très-nets.

Le système arénacé que nous venons de décrire est dirigé de l'ouest-nord-ouest à l'est-sud-est avec une forte inclinaison vers la région nord, et va couper la grande route entre le sommet du col du Lautaret et le bas de la descente du côté de Briançon. Sa puissance est considérable et doit approcher de 300 mètres. Malgré sa grande épaisseur, il n'est pas riche en gîtes d'anthracite. Il est même dépourvu de ce combustible aux environs du Lautaret et n'en offre que quelques indices dans le vallon du Goléon.

En continuant à s'avancer vers le col du Galibier, on reconnaît que les grès quartzeux situés à la partie supérieure du système précédent sont recouverts par une assise d'une nature toute différente formée d'un calcaire gris foncé, assez bien stratifié, dont l'épaisseur est de 25 à 30 mètres. La tranche de ce calcaire, fortement relevée, fait une saillie assez considérable à la surface du sol. En se prolongeant vers l'est-sud-est, elle va rencontrer, à peu de distance de la grande route, le torrent qui descend du vallon du Galibier.

A ce calcaire succède une nouvelle assise schisteuse composée principalement de roches argilo-calcaires, grises, feuilletées. Ces roches ont une puissance d'environ 60 mètres. Comme elles sont tendres, elles ont été creusées par les eaux pluviales : ce qui a donné naissance à un petit vallon gazonné intermédiaire entre le vallon du Galibier et celui où la Guisanne prend sa source.

Les schistes précédents sont évidemment recouverts

par une masse énorme d'un calcaire gris, grenu, sans stratification bien distincte, présentant à lui seul une épaisseur de plus de 50 mètres. On atteint ce calcaire lorsqu'on arrive aux chalets de la Mendette auxquels il sert de base. Il se prolonge d'une manière très-visible vers le nord-ouest et va passer un peu à l'ouest du col du Galibier. Nous le nommerons à l'avenir calcaire de la *Mendette.*

En suivant dans leur prolongement les quatre assises alternativement arénacées et calcaires que nous venons d'indiquer, on remarque souvent que les roches arénacées sont remplacées par des marnes schisteuses alternant avec des calcaires plus solides à texture cristalline. Alors tout le système offre une longue série de bancs calcaires qui frappent l'observateur par leur épaisseur énorme. Lorsque ces bancs barrent une vallée, ils donnent presque toujours lieu à une gorge étroite, profonde, s'élargissant un peu à la rencontre des couches schisteuses et se resserrant dans le sein des grandes masses calcaires. Tel est, par exemple, le défilé qui conduit de Moutiers à Villette. Ces assises réunies offrant dans leur ensemble une grande liaison et se séparant nettement par leurs caractères des autres groupes situés au-dessus ou au-dessous, nous en avons fait un seul étage, le premier du terrain anthraxifère supérieur.

Remarque sur la liaison des couches anthraxifères entre elles.

Les couches anthraxifères qui nous restent à décrire sont alternativement composées de grès et de calcaire. Avant d'indiquer leur succession dans le vallon du Galibier, nous insisterons sur un fait remarquable qui a servi de base à notre division du terrain en étages. On observe constamment que les assises calcaires ne sont pas également liées aux roches arénacées, suivant que celles-ci sont au-dessus ou au-dessous d'elles. Il n'y a aucun passage, et même il y a jusqu'à un certain point

indépendance entre les calcaires et les grès qui les recouvrent, quelquefois même la stratification paraît discordante. On remarque, au contraire, une liaison intime entre ces mêmes calcaires et les couches arénacées immédiatement inférieures. Ordinairement cette liaison s'établit de la manière suivante : le calcaire d'abord pur et en grande masse commence à alterner à sa base avec des lits minces de quartz qui deviennent successivement plus épais et plus abondants. Ce quartz en prenant une structure grenue passe au grès quartzeux, et celui-ci a d'autres roches arénacées. Souvent aussi le calcaire devient schisteux à sa partie inférieure et se transforme graduellement en schiste argilo-calcaire accompagné de schiste argileux et de psammite. D'après ce fait qui se vérifie non-seulement dans le vallon du Galibier, mais dans toute l'étendue du terrain anthraxifère, nous avons composé chaque étage d'un groupe de roches arénacées et de l'assise calcaire immédiatement supérieure quand celle-ci existait. Nous n'avons fait d'exception que pour le premier étage formé, ainsi qu'on l'a dit plus haut, de quatre assises alternativement arénacées et calcaires. Les caractères particuliers à cet ensemble de couches, qui seront exposés plus tard avec détails, nous ont paru devoir entraîner leur réunion en un seul groupe. Cependant, comme ici encore l'assise calcaire moyenne est bien mieux liée aux grès ou aux schistes calcaires immédiatement inférieurs qu'à ceux qui sont au-dessus, on peut y distinguer deux sous-étages composés chacun d'une assise calcaire reposant sur une assise arénacée. Cette subdivision du premier étage est constante et quelquefois très-nette. On la retrouve sur des points très-éloignés.

Nous allons maintenant reprendre notre coupe générale.

Des chalets de la Mendette au col du Galibier : 2e étage anthraxifère.

Nous nous sommes arrêté aux chalets de la Mendette situés à l'entrée du vallon du Galibier, sur le chemin qui conduit au col. En continuant à suivre ce chemin, on voit que l'assise calcaire sur laquelle les chalets sont bâtis est surmontée d'une masse de quartz compacte, quelquefois grenu, épaisse de 25 à 30 mètres, à laquelle succèdent des grès quartzeux à ciment argileux ou argilo-calcaire, puis des schistes argileux noirs micacés, à grains fins, alternant avec des schistes argilo-calcaires. Ces derniers deviennent très-abondants dans la partie supérieure de l'assise qu'ils finissent par constituer à peu près exclusivement. On remarque que les grès quartzeux et les schistes argileux sont plus épais que les bancs de quartz placés au-dessous, et qu'ils renferment quelques couches d'anthracite que les habitants du pays exploitent par intervalles. Ce système arénacé et argilo-calcaire forme les premiers escarpements qui dominent au nord-est les chalets de la Mendette. Du haut de ces escarpements, on suit très-bien son prolongement vers le col du Galibier, dont il occupe la partie la plus basse.

En continuant à s'avancer, on rencontre bientôt une assise assez puissante de marne et de calcaire évidemment superposée aux couches précédentes et intimement liée avec elles. La partie inférieure de cette nouvelle assise est composée d'une marne plus ou moins argileuse qui passe à un calcaire schisteux, grenu, en partie altéré, assez solide pour donner lieu à des escarpements que leur couleur jaunâtre rend visibles de loin. Son épaisseur est de 70 à 80 mètres. C'est dans son sein qu'a été pratiqué le chemin formant le passage du Galibier, au sommet duquel il a été planté une croix. Un peu au-dessous de cette croix, sur le col même, ce calcaire paraît altéré et renferme des masses gypseuses.

L'assise précédente, que nous nommerons calcaire du *Galibier*, réunie au groupe de roches arénacées et argilo-calcaires placés immédiatement au-dessous, constitue le deuxième étage anthraxifère. Cet étage, peu épais au col du Galibier, acquiert en Savoie, par le développement de ses couches schisteuses et arénacées, une puissance énorme, supérieure à un millier de mètres. On y trouve beaucoup de gîtes d'anthracite et des empreintes de végétaux houillers. L'assise calcaire supérieure renferme de son côté des fossiles d'espèces liassiques qui seront indiquées plus tard.

Du col du Galibier au sommet de la montagne de Terre-Noire : 3e étage anthraxifère.

Si de la croix du col du Galibier on se dirige vers les escarpements les plus élevés de la montagne de Terre-Noire, on observe immédiatement au-dessus de l'assise calcaire qui constitue le col un nouveau groupe arénacé composé principalement de psammite à grains fins et de schiste argileux avec anthracite, qui, en se prolongeant vers le sud-ouest, du côté du Lauzet, forme une zone noire, très-distincte, qui règne à peu près aux deux tiers de la montagne. A ces grès anthraciteux, épais de 50 à 60 mètres, succèdent plusieurs bancs de quartz compacte qui leur paraissent intimement liés. Le tout est couronné par une masse calcaire inaccessible, de près de 100 mètres de hauteur, qui présente sa tranche coupée à pic au-dessus des couches précédentes. Ce calcaire, que nous nommerons calcaire de *Terre Noire*, parce qu'il constitue l'arête culminante de cette montagne, est découpé en pyramides qui frappent de loin par leur aspect de ruines et par leur teinte jaunâtre et rougeâtre. Il est, en général, à texture grenue et devient souvent bréchiforme en empâtant de gros fragments irréguliers de calcaire compacte. Son prolongement vers le sud-est donne lieu à une crête continue profondément dentelée, qui, au-dessus du Lauzet,

est divisée dans toute sa hauteur par une fracture servant de passage pour aller dans le vallon de la Ponsonnière. Ce vallon, à peu près parallèle à celui du Galibier, n'en est séparé que par la crête de rocher dont nous venons de parler.

Le calcaire de *Terre-Noire* et les grès à anthracite qui lui sont immédiatement inférieurs composent notre troisième étage. En suivant au nord du col du Galibier l'assise arénacée de ce système de couches, on la voit se développer rapidement et acquérir bientôt une puissance comparable à celle des grès et schistes du deuxième étage. Elle est également remarquable par la présence de roches cristallines qui, dans plusieurs localités, paraissent la constituer entièrement. On y observe beaucoup de gîtes d'anthracite et des restes de végétaux appartenant à la flore houillère.

Montagne du Chardonnet: 4e étage anthraxifère.

Pour continuer la coupe générale du système anthraxifère et arriver au dernier dépôt qui le termine, il faut descendre du vallon du Galibier à la grande route, la suivre jusqu'au Lauzet, premier village un peu considérable que l'on rencontre en venant du Lautaret, de là monter dans le vallon de la Ponsonnière en passant par la fracture du rocher de Terre-Noire mentionnée plus haut. En faisant ce trajet, on coupe successivement une partie des assises qui ont été décrites précédemment. On rencontre d'abord en sortant du Lauzet un calcaire schisteux un peu altéré, sur lequel on marche constamment jusqu'à ce que l'on ait atteint les chalets de l'Alp situés à peu près à moitié chemin du vallon de la Ponsonnière. Ce calcaire correspond exactement à celui où l'on a planté la croix du col du Galibier. Près des chalets de l'Alp, on observe sur la droite, et au-dessus de l'assise calcaire précédente, des grès un peu ferrugineux avec quartz et mica renfermant des veines d'an-

thracite. Ces grès peuvent être rattachés sans solution de continuité à ceux que nous avons décrits dans le vallon du Galibier, comme appartenant à la partie inférieure du troisième étage. Immédiatement au-dessus, il y a plusieurs bancs de quartz compacte se divisant en strates minces et alternant, dans leur partie supérieure avec un calcaire gris à texture grenue. Ce dernier, en devenant de plus en plus épais, finit par constituer une puissante assise, dont la masse coupée à pic forme à droite et à gauche les parois d'un défilé étroit par lequel on passe pour monter à la Ponsonnière. Ce calcaire, dont fait partie une haute pointe de rocher nommée la *Grande-Aiguillette* (1), est, comme nous l'avons dit, le prolongement direct de celui de *Terre-Noire.* Le vallon du Galibier est si rapproché du Lauzet et les différentes assises du flanc gauche de ce vallon tellement à découvert, que toutes les continuités de couches que nous venons d'indiquer sont évidentes et peuvent être établies avec la plus grande rigueur. Lorsqu'on a franchi le défilé et qu'on est arrivé à l'entrée du vallon de la Ponsonnière, on reconnaît bientôt que le calcaire de *Terre-Noire*, déjà si élevé dans la série des couches anthraxifères, n'en est pas cependant le dernier terme. Il s'enfonce, en effet, de tout côté sous un nouveau système très-épais, de quartz compacte, de grès quartzeux, de poudingue, de schiste argileux avec anthracite et empreintes végétales dont nous avons fait notre quatrième étage.

Ce groupe de roches arénacées constitue entièrement le vallon de la Ponsonnière, ainsi que la montagne du Chardonnet qui le borne à l'est. Les couches courent à peu près dans la même direction que le val-

(1) Carte de Cassini, n° 151.

lon, c'est-à-dire du N.-N.-O. au S.-S.-E., et plongent fortement vers l'E.-N.-E.; en sorte qu'en montant au col du Chardonnet pour descendre de là à Querellin, on marche successivement sur la tranche de toutes ces couches en les coupant à peu près perpendiculairement à leur direction. Voici quelle est leur nature à partir des plus basses. Immédiatement au-dessus du calcaire de *Terre-Noire* qui plonge fortement à l'Est, on observe des bancs de quartz compacte qui paraissent régner sur tout le flanc occidental du vallon de la Ponsonnière. Leur épaisseur est variable et peut être évaluée moyennement à 12 ou 15 mètres. Immédiatement après vient une série de grès micacés, à grains fins, et de schiste argileux alternant ensemble et renfermant un grand nombre de couches d'anthracite exploitées par les habitants du pays. Ce groupe de couches, dont l'épaisseur est de plus de 150 mètres, forme la partie basse et gazonnée du vallon, et en se prolongeant vers le N.-O., il va passer par le col même de la Ponsonnière qui conduit à Bonnenuit, en Savoie. Ces grès et ces schistes anthraciteux s'enfoncent sous des grès plus durs et plus quartzeux qui passent quelquefois au poudingue et forment les premiers escarpements que l'on rencontre en montant au col du Chardonnet. Sur ces grès durs repose une nouvelle série de schiste argileux et de grès fins, micacés, renfermant aussi des couches d'anthracite, et ayant au moins 200 mètres de puissance. Cette assise, qui occupe la partie moyenne de la montagne, est presque partout recouverte par des éboulis descendus des escarpements plus élevés. Vers leur partie supérieure, ces schistes et ces grès commencent à alterner avec des bancs de quartz passant au grès et avec une roche feldspathique verdâtre qui devient souvent porphyroïde en empâtant, soit des

cristaux d'amphibole, soit des pyrites, du quartz et du talc. On observe dans la partie la plus basse de ce nouveau système de roches, non loin du sentier qui conduit au col, une couche de schiste argileux renfermant des veines irrégulières de plombagine. Cette substance, qui se trouve dans le voisinage d'un banc feldspathique, ne paraît être ici qu'une altération de l'anthracite. A mesure que l'on s'élève, les roches de quartz et de porphyre dominent de plus en plus relativement au grès ; enfin, elles constituent à peu près exclusivement les crêtes les plus élevées du Chardonnet, qui présentent des escarpements verticaux de 100 à 150 mètres d'élévation au-dessus de leur base. Cette partie de la montagne, vue du vallon de la Ponsonnière, offre une série de lignes noires presque horizontales, qui paraissent être des joints de stratification. Elle est en outre divisée par de longues fissures verticales qui découpent la crête en aiguilles minces et lui donnent un aspect extrêmement déchiré. En 1831, on y a découvert plusieurs filons de cuivre pyriteux à gangue quartzeuse que l'on a essayé d'exploiter, mais sans aucun succès.

Le col du Chardonnet, situé au sud des crêtes aiguës dont nous venons de parler, est formé principalement de grès quartzeux à gros grains et de schiste argileux verdâtre à texture fine et compacte renfermant un grand nombre d'empreintes végétales dont l'identité avec des espèces caractéristiques des terrains houillers a été constatée à plusieurs reprises. Parmi ces espèces, MM. Élie de Beaumont et Adolphe Brongniart ont cité les suivantes : *Calamites Suckowii*, *C. Cistii*, *C. approximatus*, *C. cannæformis*, *Sigillaria tessellata*, *S. notata*, *Lepidodendron ornatissimum*, *L. crenatum*.

Les couches qui constituent le sommet du col du Chardonnet courent à peu près parallèlement à la ligne de faîte de la montagne, et ont partout une forte inclinaison vers l'E.-N.-E. Elles sont suivies d'une longue série de grès, de quartz et de schiste argileux micacé offrant la plupart des variétés que nous avons déjà citées. Ces couches, qui non loin du col sont coupées par un filon de fer spathique, et sur les tranches desquelles on marche constamment en descendant du côté de Querellin, affectent presque constamment la position verticale; de sorte qu'il est difficile de décider si elles sont supérieures ou inférieures à celles qui composent le sommet de la montagne. Ce n'est qu'en s'approchant d'un grand rocher calcaire dont nous allons maintenant parler, qu'on leur voit prendre une inclinaison sensible vers l'O.-S.-O., et par conséquent de sens contraire à celle que l'on avait observée jusqu'alors.

Le rocher qui limite à l'est le système arénacé du Chardonnet, vu du sommet du col, se présente comme une immense muraille qui barre transversalement le vallon par lequel on descend pour aller à Querellin. Il n'offre, pour l'écoulement de l'eau et le passage du chemin, qu'une fente étroite et profonde dont les parois sont à pic. Lorsqu'on est arrivé à l'entrée de ce défilé, et avant de l'avoir traversé, on observe à droite et à gauche des bancs très-épais de quartz compacte qui sont surmontés de grès et de schistes arénacés fortement inclinés vers la ligne de faîte du Chardonnet, et faisant suite, sans solution de continuité, aux roches de cette montagne. On reconnaît avec évidence que ces bancs de quartz et de grès sont supérieurs à la masse calcaire, et qu'ils s'appuient contre elle des deux côtés du défilé en remontant presque jusqu'à son sommet.

Cette superposition peut se suivre sur une grande longueur, et partout elle est très-claire. Lorsqu'on a franchi le passage afin d'observer sur son revers oriental le rocher calcaire dont nous venons de parler, on y aperçoit des marques distinctes de stratification, surtout dans sa partie inférieure, qui est divisée en strates fortement relevés vers le N.-E. et coupés à pic. Cette assise, que nous nommerons calcaire de *Querellin*, offre le même aspect et les mêmes caractères minéralogiques que celle de *Terre-Noire*. Elle repose immédiatement comme celle-ci sur des bancs de quartz compacte, semblables à ceux qui ont déjà été mentionnés près des chalets de l'Alp. Au-dessous de ces bancs de quartz viennent des grès et des schistes argileux formant la partie supérieure d'un groupe de roches arénacées très-épais, qui s'étend de là jusqu'à Névache. La direction générale de l'assise calcaire est du N.-O. au S.-E., avec une forte inclinaison du côté de la montagne du Chardonnet. Vers le N.-O., on la voit se prolonger jusqu'aux sources du torrent de la *Clarée*, qui coule au fond de la vallée. Au S.-E., elle va constituer le col de Buffer, entre le Monestier et Névache, et continue encore beaucoup au delà.

Identité des calcaires de Querellin et de Terre-Noire.

Il résulte de ce qui précède que le système anthraxifère du Chardonnet, formant le quatrième étage, s'appuie à l'ouest sur le calcaire de *Terre-Noire*, et à l'est sur celui de *Querellin*; que ces deux calcaires offrent les mêmes caractères extérieurs, et qu'ils reposent l'un et l'autre sur des bancs de quartz compacte situés à la partie supérieure de roches arénacées. D'après ces faits, il est naturel de les considérer comme des équivalents géologiques. Mais il est possible d'aller encore plus loin par l'observation, et de constater leur *identité* d'une manière rigoureuse en s'assurant que l'un n'est que le

prolongement de l'autre. Pour cela, nous allons nous reporter sur le col du Galibier, au pied de l'assise calcaire de *Terre-Noire*, et de là nous attacher à la suivre d'une manière continue en marchant au nord.

Si du sommet du col du Galibier on descend en Savoie, en se dirigeant vers le village de Bonnenuit, on ne cesse d'apercevoir sur sa droite les hauts escarpements que forme ce calcaire, et si l'on veut s'en donner la peine, on peut marcher constamment sur les couches de grès et de quartz compacte placées à sa base. Ces roches de quartz sont très-développées au-dessus des premiers chalets que l'on rencontre, et l'on remarque qu'il s'en est détaché beaucoup de blocs roulés qui encombrent le chemin. Un peu plus loin, la masse calcaire qui constitue la partie la plus élevée de la montagne, offre une large et profonde ouverture donnant passage au torrent qui descend au nord du col de la Ponsonnière. Au delà de cette brèche, l'assise calcaire s'élève à une grande hauteur, et le système de grès immédiatement inférieur augmente de puissance. On exploite dans ces grès, un peu au-dessus du village de Bonnenuit, des gîtes d'anthracite qui, par leur position géologique, correspondent exactement à ceux du troisième étage anthraxifère dans le vallon du Galibier. Si, à partir de ces mines de combustible, l'on continue à suivre le pied de l'escarpement calcaire qui les domine, on s'avance à peu près dans la direction du sud au nord jusqu'à un point situé au-dessus du village de la *Ravine*, entre Bonnenuit et Valloire. Là, on voit que les grès sur lesquels on a marché prennent un développement de plus en plus considérable, et qu'ils se prolongent au loin dans la Maurienne, mais que l'assise calcaire qui les surmonte subit une inflexion brusque, et qu'au lieu de continuer vers le nord, elle tourne

vers l'est, puis bientôt vers le sud-est. Rien d'ailleurs n'empêche de la suivre dans cette nouvelle direction, et l'on est conduit droit à un col escarpé appelé *Rochachilles* (1). Ce col, ouvert précisément à la jonction du calcaire et des grès inférieurs, est un des points de la ligne de partage des eaux entre Valloire et Névache. De là on aperçoit d'un côté la vallée que l'on vient de quitter, où se trouvent Bonnenuit, Valloire et quelques autres villages, et de l'autre, devant soi, la partie supérieure de la vallée de la Clarée, sur le flanc droit de laquelle est bâti le hameau de Querellin ; en sorte que d'un seul coup d'œil on embrasse la continuité de l'assise calcaire de *Terre-Noire*, qui se prolonge de l'une de ces vallées dans l'autre. Pour achever de la suivre jusqu'à Querellin, il faut, en descendant du col de Rochachilles, se tenir sur la droite de la Clarée, à la hauteur des pâturages les plus élevés. On parvient ainsi, en marchant presque horizontalement, jusqu'à l'entrée du défilé étroit par lequel on monte de Querellin au col du Chardonnet. La courbe que l'on décrit en faisant le trajet que nous venons d'indiquer a la forme d'une demi-ellipse très-allongée. Son développement est d'environ 24 kilomètres.

On peut s'assurer de l'identité des calcaires de *Terre-Noire* et de *Querellin* d'une autre manière plus courte et moins pénible. Pour cela, il faut suivre le vallon de la Ponsonnière dans le sens de sa direction jusqu'au delà du col qui porte son nom, et qui forme la limite entre la France et la Savoie. Après avoir dépassé ce col, on voit très-clairement que les grès de la montagne du Chardonnet, au pied de laquelle on a constamment marché, s'appuient à l'est et à l'ouest contre

(1) Carte de Bourcet, n° 4.

deux grands rochers qui sont le prolongement direct, l'un du calcaire de *Terre-Noire*, et l'autre de celui de Querellin, et que ces deux roches, dont la continuité n'est interrompue que par quelques fractures transversales dont les parois se correspondent évidemment, décrivent chacun un arc d'ellipse et vont se réunir en face de l'observateur pour former les hauts escarpements qui dominent le village de Bonnenuit. Quant aux grès à anthracite qui sont entourés de tout côté par ces masses calcaires dressées comme de hautes murailles, ils paraissent se terminer en pointe en diminuant de puissance, et ne s'étendent pas au delà des chalets appelés les *Granges-de-Moutiers* (1).

De Querellin à Névache : 3e étage anthraxifère.

Les observations à l'aide desquelles nous avons établi l'identité des calcaires de *Terre-Noire* et de *Querellin* montrent en même temps que les groupes arénacés qui leur sont immédiatement inférieurs, sont aussi le prolongement l'un de l'autre. Leur continuité n'est pas moins évidente. Par conséquent le calcaire de *Querellin* et les grès qu'il recouvre appartiennent rigoureusement au troisième étage anthraxifère. Les couches sur lesquelles repose immédiatement ce calcaire sont, comme nous l'avons déjà dit, formées de quartz compacte intimement lié à la roche supérieure. Au-dessous de ces couches quartzeuses, on observe des grès également très-riches en quartz, mais offrant une structure arénacée distincte. Sur quelques points ils sont fortement colorés par de l'oxyde de fer. Ces grès, dont l'épaisseur est de plusieurs centaines de mètres, sont associés dans leur partie inférieure à des schistes argileux, parfois verdâtres et stéatiteux, à cassure presque compacte. Les chalets de Querellin sont bâtis sur ce

(1) Carte de Bourcet, déjà citée.

système de grès et de schiste argileux dont le prolongement vers le N.-N.-O. constitue, au sud du col de Valmeinier, des cimes vertes, jaunes ou rouges lie de vin que l'on remarque de loin à cause de leurs couleurs éclatantes. Quand on est descendu au fond du vallon de la Clarée, si l'on continue à se diriger du côté de Névache, on commence à couper très-obliquement une immense épaisseur de grès quartzeux, le plus souvent à gros grains et d'un aspect assez uniforme, qui plongent constamment vers le S.-O. sous une forte inclinaison, et sont évidemment inférieurs aux roches précédentes. En les examinant de près, on reconnaît qu'ils sont composés de fragments, les uns anguleux, les autres arrondis, de quartz, d'eurite, de leptinite, de schiste argileux, de micaschiste et de gneiss; mais le quartz y est à beaucoup près la roche dominante. Ce groupe quartzeux, en se prolongeant au N.-N.-O., acquiert un développement de plus en plus considérable, et occupe tout l'espace compris entre le col de Valmeinier et Val-Étroite. Vers le S.-S.-E., il supporte les chalets de Buffer et constitue à peu près exclusivement le vallon de Cristovoul, où l'on a découvert plusieurs gîtes d'anthracite. Plus au sud, ces mêmes grès, associés à des poudingues et à des schistes argileux avec restes de végétaux houillers, pénètrent dans la vallée de la Durance, en passant entre la Salle et Briançon. Ce sont eux qui renferment les nombreuses mines de combustible exploitées sur le territoire de cette dernière ville, ainsi que sur les communes de Saint-Chaffrey, du Puy-Saint-Pierre et du Villard-Saint-Pancrace.

Le système arénacé dont nous venons d'indiquer le prolongement au nord et au sud de la Clarée, s'étend du côté de l'est jusqu'à Névache. Le village principal

de cette commune est bâti au pied d'un énorme rocher calcaire qui sert de support à toute la série des grès que l'on a traversée en venant de Querellin, grès dont la somme des épaisseurs peut être évaluée au moins à 1.200 mètres. Ce calcaire, que nous nommerons *calcaire de Névache*, paraît tout à fait indépendant des grès précédents. Son infériorité de position est évidente, soit au nord-ouest du village, en suivant le ravin dit *du Vallon*, creusé à la jonction des deux systèmes de roches ; soit au sud-est, en examinant le flanc oriental de l'entrée du vallon de Cristovoul.

On voit par ce qui précède que le groupe arénacé formant la partie inférieure du troisième étage anthraxifère, est beaucoup plus développé à l'est de la montagne du Chardonnet qu'à l'ouest. Cette différence de puissance entre deux systèmes de couches, qui sont cependant le prolongement rigoureux l'un de l'autre, n'a rien d'étonnant. Elle est fréquente dans la plupart des formations des Alpes, dont les variations d'épaisseur peuvent être dans le rapport de 1 à 100.

De Névache au col des Tures : 2e étage anthraxifère.

Le calcaire de *Névache* n'étant lié en aucune manière avec les grés qui lui sont superposés, doit être considéré comme la partie supérieure d'un autre étage. Les bancs de ce calcaire sont très-exactement dirigés du N. 15° O. au S. 15° E. avec une forte inclinaison vers le S. 15° O. Ils sont de couleur grise, à cassure en général grenue et ne présentant aucune différence minéralogique notable avec le calcaire de *Querellin*, si ce n'est qu'ils passent plus rarement à une brèche. Leur puissance totale est au moins de 50 à 60 mètres.

En sortant de Névache pour aller à Plampinet, on rencontre bientôt des couches marneuses qui paraissent inférieures au calcaire précédent. Pour bien observer la nature et les relations géologiques de ces couches, il

faut s'écarter du chemin sur la gauche et gravir la pente du vallon élevé qui conduit au col des Tures. Dès que l'on est parvenu au sommet de la montée, on voit clairement que le calcaire de Névache forme, en se prolongeant, la crête la plus élevée de la montagne qui borne à l'ouest le vallon des Tures, et que sous lui s'enfoncent des marnes schisteuses souvent altérées, et renfermant sur quelques points des masses gypseuses. Ces schistes constituent le flanc occidental ainsi que le milieu du vallon des Tures, et servent de base aux pâturages sur lesquels on marche pour arriver au col. Plus au nord et en face des chalets de Val-Étroite, ces mêmes marnes schisteuses renferment des bancs subordonnés de grès quartzeux à gros grains, de psammite et de schiste micacé. En continuant à descendre vers Val-Étroite, on y trouve des bancs de gypse alternant avec les marnes et les grès.

Le système de couches que nous venons de suivre depuis Névache est donc composé d'une assise calcaire recouvrant un groupe de marnes schisteuses associées quelquefois à des grès quartzeux et micacés. Par sa position géologique et la nature de ses roches, il correspond exactement au calcaire du *Galibier* et aux grès immédiatement inférieurs qui constituent le deuxième étage anthraxifère. Il eût été intéressant de prouver la vérité de ce rapprochement par une observation directe, c'est-à-dire en montrant, ainsi que nous l'avons fait pour les calcaires de *Terre-Noire* et de *Querellin*, que l'un des systèmes est le prolongement de l'autre. Mais cette recherche nous aurait entraîné bien au delà des frontières de la Savoie, et nous aurait fait sortir du cadre que nous avions assigné à notre travail. D'ailleurs, cette vérification ne nous a pas paru absolument nécessaire. Il y a une telle concordance entre les divers

étages anthraxifères situés à l'ouest et à l'est de la montagne du Chardonnet, que la correspondance de l'un à l'autre se trouve établie avec un degré bien suffisant de probabilité.

Du col des Tures au col de Désertes par le vallon des Acles : 2e étage anthraxifère.

Les marnes schisteuses avec gypse et roches arénacées qui constituent le col des Tures, et que nous avons rapportées, ainsi qu'on vient de le voir, à la partie inférieure du deuxième étage anthraxifère, s'appuient à l'est sur une masse calcaire de 40 à 50 mètres de puissance, dont la crête sépare le vallon des Tures de celui de l'Échelle. Cette superposition s'observe très-bien en allant du col des Tures à Plampinet. Si, arrivé à ce dernier village, on examine avec soin le petit vallon de l'Échelle, en face duquel on se trouve, et qui conduit directement à Bardonèche, on reconnaît sans peine que ce passage a été ouvert dans des marnes inférieures au calcaire précédent, que nous appellerons calcaire de l'*Échelle*, et supérieures à une seconde masse calcaire qui domine à l'est le vallon de l'Échelle, et dont le prolongement sud, en se repliant dans le vallon de la Clarée, supporte le village de Plampinet. Cette seconde masse calcaire forme, derrière le village, les parois d'un défilé très-étroit par lequel il faut passer pour arriver aux chalets des Acles. En se dirigeant de ce côté, on coupe d'abord transversalement l'assise précédente, à laquelle nous donnerons le nom de calcaire des Acles. Son épaisseur est de 150 à 200 mètres. Sous le rapport des caractères minéralogiques, elle ne diffère pas sensiblement du calcaire de *Névache*. Après l'avoir traversée, et en arrivant aux Acles, on se trouve sur des schistes grisâtres très-feuilletés, servant de base aux couches calcaires du défilé. Ces schistes, dont la puissance paraît très-considérable, sont argileux ou argilo-calcaires, et renferment ordinairement des paillettes de

talc et de mica. Ils constituent les pâturages environnants, et se prolongent jusqu'au pied du col de Désertes, par lequel on se rend des Acles dans la vallée de Césane. Vers le nord, ils s'étendent du côté de Bardonèche, en passant par le col de la Lauze.

Toutes les couches dont nous venons d'indiquer la succession à partir du col des Tures sont dirigées à peu près du nord au sud, avec une forte inclinaison vers l'ouest. Considérées dans leur ensemble, elles se divisent naturellement en deux groupes qui sont composés, le premier du calcaire de l'*Échelle* et des schistes argilo-calcaires inférieurs dans le sein desquels le passage de ce col a été creusé; le second, du calcaire des Acles et des schistes argileux avec talc et mica qui viennent immédiatement au-dessous. Ces deux groupes offrent une analogie frappante avec ceux que nous avons décrits entre le col du Lautaret et les chalets de la Mendette, et dont nous avons fait notre premier étage anthraxifère. Ils se trouvent d'ailleurs exactement au même niveau géologique. Nous sommes donc fondé à les identifier, en nous appuyant sur des raisons analogues à celles que nous avons fait valoir en parlant du deuxième étage.

On remarquera peut-être qu'aux environs du Lautaret les couches les plus basses du premier étage sont entièrement formées de grès, tandis qu'aux Acles on ne rencontre que des marnes et des schistes argileux plus ou moins chargés de talc et de mica; mais on ne doit pas attacher de l'importance à cette différence de composition minéralogique, car nous ferons voir dans la suite que sous le rapport de la nature des roches, rien n'est plus variable que la partie inférieure des étages. Souvent les grès à anthracite n'ont formé que

des amas lenticulaires irréguliers plus ou moins allongés, qui disparaissent au sein des marnes.

Du col de Désertes à Oulx : Terrain anthraxifère inférieur.

A son extrémité orientale, le vallon des Acles est fermé par un puissant rocher calcaire dont la crête forme la ligne séparative de la France et du Piémont. Quand on est arrivé au pied de ce rocher, on voit clairement que ses bancs sont fortement inclinés vers l'ouest, qu'ils s'enfoncent sous les schistes argileux, souvent micacés, des Acles, et que par conséquent ils servent de support à l'ensemble des couches que nous venons de rapporter au premier étage anthraxifère. Cette relation de position est partout évidente, soit que l'on se rende à Bardonèche par le col de la Lauze, ou que l'on suive, du côté du sud, le vallon de Laupa ouvert précisément à la jonction des schistes et de l'assise calcaire. Celle-ci présente au fond du vallon des Acles deux fractures étroites par lesquelles on peut descendre en Piémont et qui portent sur la carte de Bourcet les noms de col de l'*Ours* et de col de *Désertes*. Si l'on franchit l'un quelconque de ces passages, on observe, dès que l'on a atteint le revers opposé, que la masse calcaire dans le sein de laquelle on a marché, relève sa tranche du côté du Piémont, en donnant lieu à un escarpement coupé à pic d'une grande hauteur. Ce n'est qu'alors qu'on peut bien juger de sa puissance énorme, qui paraît comprise entre 200 et 300 mètres. On voit qu'elle se prolonge vers le sud, du côté du Montgenèvre, où, s'élevant à une hauteur de 3137 mètres au-dessus du niveau de la mer, elle constitue le sommet du pic de Chaberton. Les bancs qui composent cette assise sont formés d'un calcaire grenu, gris clair, assez bien stratifié ; ils deviennent marneux à leur partie inférieure et passent peu à peu à des schistes argilo-calcaires rendus brillants par des lamelles micacées et talqueuses. A mesure

que l'on descend, les couches prennent une structure schisteuse plus prononcée, en même temps que leur aspect devient de plus en plus cristallin. Bientôt on ne rencontre plus que des roches très-feuilletées chargées de talc et de mica, qui, prises dans leur ensemble, offrent une puissance bien supérieure à celle de l'un quelconque des divers étages anthraxifères décrits précédemment. Ces roches ont en général l'aspect du schiste talqueux dont elles ne diffèrent en effet que par la substitution totale ou partielle de la chaux carbonatée au quartz. Sur quelques points on les voit même passer au vrai talcschiste. Leur composition est d'ailleurs loin d'être uniforme, parce que le quartz, l'argile, la chaux carbonatée, le talc et le mica, qui en sont les principes constituants, varient beaucoup dans leurs proportions relatives. Mais presque jamais ils ne perdent leur aspect cristallin qu'ils doivent tant à la présence du mica et du talc qu'à la texture grenue de l'élément calcaire. Leur degré de dureté et de schistosité n'offre pas moins de variations que la proportion relative de leurs éléments.

Ces schistes calcareo-talqueux (1) avec toutes leurs nuances de composition et leur diversité de caractères constituent entièrement la partie inférieure des vallées de Césane et de Bardonèche, ainsi que les collines intermédiaires où l'on a bâti Château-Boulard, Désertes et quelques autres villages. Ils se prolongent sans interruption jusqu'aux environs d'Oulx, en présentant partout une forte inclinaison vers l'ouest et une direction qui varie entre le nord et le nord-nord-ouest. En face d'Oulx, sur la rive gauche de la Dora, on voit la partie

(1) Cette dénomination nous paraît convenable, parce qu'elle rappelle les deux éléments les plus constants et les plus caractéristiques de ces schistes.

la plus basse de ce système de couches reposer sur un banc de calcaire jaunâtre altéré, en partie changé en gypse, dont la texture est tantôt cellulaire, tantôt compacte et presque lithographique. Ce calcaire recouvre lui-même une masse très-épaisse de quartz jaunâtre souvent divisée en strates distincts et présentant à peu près le même aspect et la même couleur que le calcaire précédent. Enfin, immédiatement au-dessous de cette assise quartzeuse, on observe du gneiss et du talcschiste semblables aux roches de même nature qui constituent le terrain le plus ancien des environs de la Grave. Cette formation de roches cristallines, quoique presque entièrement recouverte par les schistes calcaires, talqueux et micacés décrits plus haut, est cependant visible entre Oulx et Suze à l'aide des escarpements qui bordent à droite et à gauche la vallée de la Dora.

La longue série de schistes calcaréo-talqueux, qui, d'un côté, s'appuie sur le terrain de gneiss et de talcschiste des environs d'Oulx et qui de l'autre est couronnée par la puissante assise calcaire du col de *Désertes*, forme une zone d'environ quinze kilomètres de largeur composée entièrement de feuillets très-inclinés, évidemment superposés les uns aux autres. En évaluant à quatre ou cinq mille mètres la somme totale de leurs épaisseurs, on reste certainement au-dessous de la vérité. Ce système de couches, par sa puissance énorme et sa structure généralement schisteuse, offre la plus grande ressemblance avec le terrain anthraxifère inférieur des environs de la Grave. Il est vrai que celui-ci ne renferme qu'accidentellement les paillettes de mica et de talc qui abondent dans la vallée d'Oulx et qu'on y trouve des belemnites qui paraissent manquer complétement dans la formation calcaréo-talqueuse. Mais nous ferons observer que dans les Alpes, on ne doit pas attacher

de l'importance, comme caractère géologique, à la nature plus ou moins cristalline des roches que les altérations métamorphiques rendent si variables, et que d'un autre côté l'absence des fossiles est un caractère négatif d'où l'on ne peut rien conclure. Sous d'autres rapports les terrains que nous comparons paraissent devoir être rapprochés. Outre qu'ils ont le même aspect physique, la même structure en grand et la même composition générale, ils se trouvent dans une position géologique identique. En effet, l'un et l'autre reposent sur les couches de gneiss et de talcschiste les plus anciennes des Alpes, et servent de base à l'ensemble des étages qui composent la partie la plus élevée du système anthraxifère. D'après ces raisons, nous rapporterons au terrain anthraxifère inférieur la puissante formation de schiste calcaréo-talqueux qui s'étend à l'est du col de Désertes et dont le prolongement constitue d'un côté, vers le nord-est, la chaîne du Mont-Cenis, et de l'autre, au sud-est, la presque totalité du Queyras (Hautes-Alpes), ainsi que la partie du Piémont qui touche à la France entre Briançon et le mont Viso.

Remarque sur la coupe précédente.

Nous venons d'achever la coupe générale des couches anthraxifères entre la Grave et Oulx. On doit distinguer dans cette première partie de notre travail : 1° l'indication des relations mutuelles et de l'ordre de succession des divers groupes de couches qui ont été observés; 2° la répartition de ces mêmes groupes en plusieurs terrains et étages. L'ordre de succession d'une série de couches est *un fait* indépendant de toute classification et de toute hypothèse géologique. Nous nous sommes appliqué à le constater avec toute la rigueur possible, en ne considérant comme certaines que les superpositions évidentes, susceptibles d'être vues et touchées, enfin en nous mettant en garde contre les erreurs que

produisent quelquefois les plissements ou les renversements de stratification. Quant à notre division de la série anthraxifère en terrains et en étages, elle est nécessairement systématique comme toutes les classifications scientifiques. Cependant, comme elle a été établie en dehors de toute idée préconçue sur l'âge géologique des couches observées, et en se fondant uniquement sur leur liaison ou leur indépendance plus ou moins grande, nous la croyons naturelle. Elle sera au reste justifiée par tout ce qui va suivre.

Nous allons maintenant indiquer comment les divers groupes anthraxifères se prolongent dans la Savoie et dans les Hautes-Alpes. Pour cela, nous nous attacherons à suivre d'une manière continue les diverses assises calcaires qui forment la partie la plus élevée de chaque étage et servent de base au suivant. Lorsque ces lignes d'affleurements, que nous avons nommées plus haut *courbes de niveau géologique*, auront été tracées sur la carte, il ne nous restera plus qu'à décrire les localités comprises entre deux.

DEUXIÈME PARTIE.

PROLONGEMENT DES DIVERS GROUPES QUI CONSTITUENT LE SYSTÈME ANTHRAXIFÈRE ; LEUR DESCRIPTION GÉOLOGIQUE.

I. TERRAIN ANTHRAXIFÈRE INFÉRIEUR.

---

§ 1er. Zone occidentale.

Il résulte de la coupe précédente que le terrain anthraxifère inférieur forme dans les Alpes deux zones distinctes situées l'une à l'ouest, l'autre à l'est de la montagne du Chardonnet. Nous les décrirons successi-

vement en les distinguant par les noms d'*occidentale* et d'*orientale*.

La zone occidentale s'appuie d'un côté sur le terrain de protogine qui, à partir des environs de la Grave, s'étend sans discontinuité jusqu'au mont Blanc; de l'autre elle a pour limite le calcaire des *Trois-Évêchés*. On a déjà vu que ce calcaire, suivi vers l'E.-S.-E., s'abaissait peu à peu en prenant une structure schisteuse de plus en plus prononcée et qu'il allait couper la grande route au sommet du col du Lautaret, un peu au nord de l'endroit où est bâti l'hospice. Il se prolonge encore au delà sur une longueur de quelques centaines de mètres; puis il s'arrête brusquement au pied des montagnes de protogine situées au sud-est du col. **Prolongement du calcaire des *Trois-Évêchés*.**

Au nord-ouest de la montagne des Trois-Évêchés, ce même calcaire a une étendue bien plus considérable. On peut le suivre à travers la Maurienne et la Tarentaise jusqu'au col du Bonhomme. Il se dirige d'abord en ligne droite jusqu'à un point situé entre l'extrémité sud des Trois-Aiguilles-d'Arve et le col de l'Infernet. Là il subit une inflexion remarquable qui le fait passer graduellement du nord-ouest au nord, puis au nord-nord-est. Cette inflexion est partagée par toutes les couches environnantes. En descendant du col de l'Infernet à Entraigues pour se rendre à Saint-Jean-de-Maurienne, on l'a constamment sur sa droite. Il passe au-dessus des Chalmieux, de Montrond, d'Albiez-le-Vieux, d'Albiez-le-Jeune, et vient traverser la vallée de la Maurienne un peu à l'ouest de Villard-Clément, à l'endroit même où se trouve un pont sur l'Arc pour le passage de la grande route. Sur toute cette longueur, il est recouvert par un groupe de grès fins schisteux, dont la continuité avec ceux de la montagne des Trois-Évêchés peut être établie d'une manière rigoureuse.

A partir de Villard-Clément, l'assise calcaire que nous considérons se dirige à peu près du nord au sud vers le col de la Madeleine où elle sért de base à des rochers de grès quartzeux passant au poudingue qui séparent ce col de la vallée de Saint-Jean-de-Belleville. On y remarque deux masses gypseuses et des bancs de schiste calcaire rubané semblables à ceux des environs de Moutiers. A partir du col de la Madeleine, cette assise éprouve une inflexion brusque qui la fait tourner vers le nord-est. En la suivant dans sa nouvelle direction, on voit qu'elle va passer à l'extrémité la plus élevée des pâturages de la commune d'Avanchers où elle renferme encore une masse considérable de gypse. De là, reprenant sa direction précédente N.-S., elle s'abaisse vers l'Isère et va couper cette rivière au lieu dit *La Madeleine*, un peu à l'ouest de Moutiers. Sur toute cette étendue, sa puissance est considérable. Ses bancs sont composés de calcaire grenu alternant avec des schistes rubanés (1) et des brèches calcaires. Ces dernières roches sont surtout abondantes sur la rive gauche, à en juger par les nombreux débris que l'on voit épars à la surface du sol. Leur pâte est ordinairement un calcaire grenu feuilleté; les noyaux empâtés ont, au contraire, une texture compacte et une couleur un peu différente. Leur forme est en général irrégulière. Quelquefois ils sont très-aplatis, allongés et enveloppés de tout côté par les feuilles de la pâte schisteuse; ce qui donne à la roche une structure d'apparence glanduleuse.

Au nord de Moutiers, cette même assise calcaire continue vers le N.-N.-E. jusqu'au-dessus du col du Cormet, où, subissant une nouvelle inflexion, elle prend

(1) Voyez sur ces schistes rubanés dits de *la Madeleine* les détails donnés par M. Brochant (*Journal des mines*, t. XXIII, p. 345).

la direction nord-est. Sa tranche, fortement relevée vers le nord-ouest, forme alors à très peu près la ligne de partage des eaux entre la Tarentaise et le vallon de Beaufort; puis elle va passer au sommet même du col de Bonhomme où elle présente des bancs de calcaire gris schistoïde, fortement inclinés vers le sud-est et s'enfonçant sous un groupe de grès très-quartzeux au pied duquel est bâti le hameau du Chapiu. Un peu plus loin, au delà du col de la Seigne, elle disparaît sous les glaciers qui recouvrent la pente sud-est du mont Blanc.

Nous venons d'indiquer la série des points par lesquels passe le calcaire des *Trois-Évêchés* depuis les environs du Villard-d'Arène jusqu'au delà du col du Bonhomme. En joignant sur la carte ces divers points par une ligne, on obtient une courbe un peu sinueuse, tournant sa convexité vers le nord-ouest et concentrique au contour de la chaîne talqueuse qui s'étend du mont Pelvoux au mont Blanc. L'espace compris entre cette courbe et les roches talqueuses est entièrement occupé par des schistes argilo-calcaires d'une grande puissance, associés à des grès anthraciteux dont l'épaisseur relative est beaucoup moindre. Nous ferons d'abord connaître les caractères géologiques et paléontologiques de la formation argilo-calcaire et sa distribution géographique. Nous passerons ensuite à la description des grès à anthracite qui présentent un grand intérêt sous le rapport du gisement et des restes de végétaux fossiles.

Schistes argilo-calcaires; leurs caractères généraux.

Les schistes argilo-calcaires des environs de la Grave peuvent être considérés comme le type de ceux qui composent, en général, le terrain anthraxifère inférieur. Ces schistes offrent, partout où on les observe, une couleur noire caractéristique. Leur cassure est terreuse. Ils sont très-fissiles et souvent exploités comme ardoise.

Lorsque la quantité d'argile qu'ils renferment est considérable et supérieure, par exemple, à 70 p. 100, ils deviennent en général friables et mal stratifiés. On y rencontre assez habituellement des filons et de petites veines de quartz et de chaux carbonatée spathique dans lesquels se trouvent disséminées des substances métalliques telles que de la galène, du cuivre gris, des pyrites de fer et de cuivre pyriteux.

Lorsque les schistes du terrain anthraxifère inférieur sont très-développés, comme aux environs de la Grave, on remarque presque toujours qu'ils se divisent naturellement en plusieurs groupes composés chacun d'une partie supérieure, solide, distinctement stratifiée, et d'une partie inférieure extrêmement friable et argileuse. Mais ces groupes ne restent pas distincts sur une grande longueur, à cause du peu de constance qu'offrent la solidité et la friabilité respectives de leurs couches. D'un autre côté, leur enchevêtrement dans les roches talqueuses et leurs altérations fréquentes empêchent de les suivre d'une manière continue. A cause de cette difficulté de subdiviser nettement en plusieurs étages la formation argilo-calcaire, nous la décrirons dans son ensemble.

Leur prolongement en Savoie et dans le département de l'Isère.

Les schistes argilo-calcaires des environs de la Grave, que nous prendrons pour point de départ, sont dirigés, ainsi qu'on l'a déjà dit, vers le nord-ouest, à peu près parallèlement au vallon de Chazeley. En s'étendant de ce côté, ils passent par les cols des Berches et de la Bâtie et vont s'appliquer contre l'extrémité nord-est de la chaîne des Grandes-Rousses. Là les couches s'infléchissent peu à peu vers le nord et vers le nord-nord-est, en se coordonnant au contour du terrain talqueux. Leur prolongement dans cette nouvelle direction constitue la vallée de l'Arvan, les environs de Saint-Jean-de-Mau-

rienne, et, plus au nord, le vallon du col de la Madeleine par lequel on se rend de la Chambre à Moutiers. Dans tout cet espace, l'aspect et la composition des schistes présentent une grande uniformité, et leur continuité avec ceux de la Grave est évidente.

Les couches argilo-calcaires que l'on observe au col de la Madeleine sont coupées transversalement par l'Isère entre Moutiers et Petit-Cœur. Au delà, elles se prolongent dans la direction du N.-N.-E. en s'élevant successivement à une hauteur à peu près égale à celle des roches talqueuses. Au sud de Saint-Maxime-de-Beaufort, elles constituent même la partie culminante de la chaîne qui sépare la vallée de l'Arly de celle de l'Isère. Leur développement est très-considérable entre Beaufort et le col du Cormet, où elles courent du sud-ouest au nord-est en présentant une forte inclinaison vers le sud-ouest. On ne les quitte pas en se rendant de là au col du Bonhomme. En faisant ce trajet, il est facile de s'assurer que leur prolongement constitue le versant nord de ce col, ainsi qu'une partie de la vallée de Bonnant.

Les schistes argilo-calcaires des environs de la Grave, dont nous venons d'indiquer la liaison avec ceux du versant nord du col du Bonhomme, s'étendent aussi dans le département de l'Isère et peuvent se suivre jusqu'au delà du Bourg-d'Oisans.

Les vastes pâturages qui, sous le nom de Prés-de-Paris, dominent au nord la Combe-de-Malval, sont formés de calcaires schisteux souvent altérés, qui reposent immédiatement sur le gneiss et sont liés sans solution de continuité avec le groupe le plus bas de la formation argilo-calcaire de la Grave. Ces schistes augmentent de puissance en s'étendant à l'ouest et vont s'appliquer contre le versant oriental de la chaîne des Rousses, en

passant sous les villages de Besse et de Mizoën. Du côté du sud, ils coupent la vallée de la Romanche entre le Chambon et les Dauphins, et constituent la plus grande partie du territoire du Mont-de-Lans, ainsi que les pâturages situés entre cette commune et Venosc. Ils se prolongent même bien au delà de ce dernier village et forment une bande étroite, enclavée dans les roches talqueuses, qui, traversant le col de la Muzelle et le Valsenestre, s'avance jusque dans le Valgodemard.

Ces mêmes couches s'étendent aussi au nord-ouest du Mont-de-Lans, le long du versant occidental de la chaîne des Rousses où elles servent de base aux pâturages d'Auris, d'Huez, de Villard-Reculas, d'Oz et de Vaujany; puis, passant par le col du Glandon, elles vont se rattacher sans interruption aux couches de même nature du versant oriental. En face de Villard-Reculas, de l'autre côté de la Romanche, on observe des schistes qui, par leurs caractères, leur position géologique et leur direction, correspondent exactement à ceux dont nous venons de parler, et n'en sont séparés que par le bassin étroit et profond où se trouve le Bourg-d'Oisans. Ils commencent non loin du hameau de la Gardette, et, se prolongeant dans la direction du nord au sud, ils constituent le col d'Ornon et le vallon de Chantelouve jusque près d'Entraigues.

La formation schisteuse, dont on vient d'indiquer la distribution géographique dans la Maurienne, la Tarentaise et l'Oisans, s'appuie, comme nous l'avons déjà dit, sur les roches cristallines, en partie talqueuses, qui forment une chaîne de montagnes continue entre le mont Pelvoux et le mont Blanc. De l'autre côté de cette chaîne, sur le versant qui regarde les vallées de l'Isère et de l'Arly, on observe également des schistes qui doivent être rapportés aux précédents, parce qu'ils en

offrent tous les caractères et qu'ils peuvent y être rattachés presque sans solution de continuité. A Saint-Maxime-de-Beaufort, par exemple, il existe de chaque côté d'une vallée très-peu large deux groupes de couches argilo-calcaires faisant suite, l'un aux schistes du versant occidental, l'autre à ceux du versant oriental déjà décrits. Ces deux groupes se correspondent si bien sous le rapport de la direction des couches et sont tellement identiques de toute manière, qu'il est évident que l'un n'est que le prolongement de l'autre. Suivi vers le nord-est, le groupe du versant occidental s'étend sans discontinuité jusqu'au delà du col de Balme, en passant par Haute-Luce, Belleville, Saint-Nicolas-de-Vérosse, les Ouches et la vallée de Chamouny. Vers le sud-ouest, les mêmes couches constituent en partie la vallée de l'Arly depuis Mégève jusqu'à Albertville, et à partir de là jusqu'à Grenoble, les collines de calcaire schisteux qui bordent la rive gauche de l'Isère et supportent Bonvillar, Aiton, la Rochette, Allevard, Theys, Laval, Revel, Saint-Martin-d'Uriage, Brié et Vizille. Près de ce dernier bourg, les schistes argilo-calcaires, continuant à suivre le contour des roches talqueuses, tournent vers le sud. Ils servent d'abord de base à la montagne de Laffrey ; puis ils vont passer sous les lacs et les villages situés à l'est de la grande route entre Laffrey et la Mure. On les retrouve un peu plus loin à Auris en Rattiers, à Valbonnais, à Entraigues, à Valjouffrey et jusqu'aux environs de Saint-Maurice en Valgodémard. Sur toute la longueur que nous venons d'indiquer, la formation argilo-calcaire du versant occidental de la chaîne talqueuse s'enfonce tantôt sous des alluvions récentes, telles que celles qui ont rempli la vallée de l'Isère entre Montmeillan et Grenoble, tantôt sous un terrain de calcaire et de marne qui renferme à sa base

les fossiles caractéristiques du lias et à son sommet ceux de l'étage oxfordien. Nous reviendrons bientôt sur ce dernier terrain qui nous paraît distinct du système anthraxifère.

Leurs relations avec les roches talqueuses.

Si l'on jette un coup d'œil sur une carte géologique(1), on est frappé des déchirements et des sinuosités qu'offre la ligne de contact du terrain talqueux et des schistes argilo-calcaires. Ce qui est très-remarquable, c'est que ces enchevêtrements irréguliers ne sont pas seulement superficiels ; ils ont lieu en quelque sorte dans les trois dimensions. Sur un grand nombre de points, les schistes argilo-calcaires recouvrent le terrain de gneiss et de protogine. Ailleurs, c'est, au contraire, ce dernier terrain qui repose sur les schistes, et cette superposition si extraordinaire n'est pas une simple apparence : elle peut être constatée d'une manière rigoureuse. Dans d'autres localités, on voit des masses plus ou moins considérables du schiste ardoisier s'insérer dans le sein même des couches de gneiss et donner lieu à une espèce d'alternance. En outre, il arrive presque toujours qu'à son contact avec le terrain talqueux le schiste argilo-calcaire perd ses caractères habituels et se change en une roche d'apparence calcaire, tantôt massive et compacte, d'autres fois grenue et cristalline, contenant une grande quantité de silice et de magnésie. De son côté, le gneiss offre également des marques d'altération. Quelquefois il y a un passage insensible entre ces deux espèces de roches : le schiste calcaire devient onctueux et brillant, se charge de quartz, de mica et de talc et devient un véritable talcschiste auquel succèdent ensuite du gneiss et d'autres roches feldspathiques.

La superposition de certaines parties du terrain tal-

(1) Voir la carte géologique jointe à ce mémoire.

queux sur les schistes argilo-calcaires et leurs enchevêtrements réciproques sont des faits qui ont été constatés par un grand nombre d'observateurs dans toute l'étendue de la chaîne des Alpes, en Suisse, en Savoie et en France. Pour les expliquer, on a eu recours à diverses hypothèses. Les uns ont supposé des renversements de couches ou une pénétration mutuelle mécanique et violente des deux terrains. D'autres ont pensé qu'il y avait eu épanchement des roches talqueuses sur les schistes. Dans notre opinion, basée sur un grand nombre de faits, les enchevêtrements des schistes calcaires et des roches cristallines seraient dus à une altération irrégulière métamorphique; car nous pensons que le terrain de protogine a été formé en grande partie aux dépens des couches argilo-calcaires profondément modifiées dans leur nature minéralogique par des émanations souterraines. L'existence de roches cristallines stratifiées non-seulement à la base du système anthraxifère, mais encore à un niveau géologique élevé dans ce système, donne, suivant nous, de la probabilité à cette hypothèse. Nous rapportons, au reste, ces idées théoriques sans y attacher de l'importance; car il faudra encore beaucoup de recherches pour arriver à éclaircir ces questions difficiles.

Malgré leur grand développement, les schistes argilo-calcaires du terrain anthraxifère inférieur sont pauvres en coquilles fossiles. On y rencontre quelquefois des bélemnites et des ammonites, et beaucoup plus rarement des térébratules, des peignes et d'autres genres de mollusques. Coquilles fossiles.

Les bélemnites sont les coquilles les plus répandues. Nous en avons déjà cité aux environs de la Grave. On en trouve également près du village de Petit-Cœur en Tarentaise, sur le territoire du Mont-de-Lans (Isère);

au Bourg-d'Oisans, en allant à la Gardette; aux environs du village de Villard-Reculas, à Allevard, à Vizille et dans un grand nombre d'autres lieux. On en distingue au moins deux espèces. La plus commune est très-allongée, cylindroïde sur presque toute sa longueur, et très-souvent coupée transversalement par de petits filons de calcaire spathique de 1 ou 2 millimètres de largeur; elle paraît devoir être rapportée aux *Belemnites elongatus* (Miller). La seconde espèce ayant un rostre beaucoup plus court et plus conique est le *Belemnites paxillosus* (Voltz) [B. *Bruguierianus* (d'Orb.)].

Les ammonites ne sont pas aussi abondantes que les bélemnites. Cependant nous en possédons plusieurs qui viennent d'Allevard et de Venosc en Oisans. Les environs du col de la Madeleine en Tarentaise paraissent en renfermer aussi un assez grand nombre. Toutes sont identiques avec des espèces liassiques ou en sont très-voisines. On trouve surtout beaucoup d'ammonites associés à d'autres fossiles sur le versant nord d'une sommité très-élevée dite *Tête de Rachet* (1), située entre la vallée du Vénéon et celle de la Romanche, un peu au-dessus du lieu appelé le Grand-Plan. commune du Mont-de-Lans. Les schistes argilo-calcaires de cette montagne sont le prolongement direct de ceux qui sont coupés par la Romanche près des Dauphins, et ces derniers ne sont qu'une continuation évidente du groupe argilo-calcaire le plus bas des environs de la Grave. Il n'est pas douteux par conséquent que la montagne de *Rachet* n'appartienne bien au terrain anthraxifère inférieur. Les fossiles qu'on y rencontre à plus de deux mille mètres au-dessus du niveau de la mer sont en général fracturés et dans un mauvais état de conserva-

(1) Carte de Bourcet, n° 3.

tion. Cependant, M. Alcide d'Orbigny a pu y reconnaître parmi les bélemnites les deux espèces déjà citées et parmi les ammonites les suivantes : *A. rotiformis* (Sow.), *A. Bucklandi* (Sow.), *A. krydion* (Ziet.), *A. stellaris* (Sow.), *A. Scipionianus* (d'Orb.). Les quatre premières espèces sont, comme on le sait, propres à la partie inférieure du lias. La cinquième décrite et figurée pour la première fois dans la paléontologie française, a été également trouvée dans le lias à Avallon. Les mêmes couches du mont Rachet renferment des peignes et des térébratules qui n'ont pu être déterminés spécifiquement.

Les schistes argilo-calcaires dont nous venons d'esquisser les caractères géologiques et paléontologiques sont quelquefois associés à des grès avec anthracite qui sont surtout remarquables en ce qu'on y trouve des restes de végétaux appartenant tous à la flore carbonifère. Ces dépôts arénacés présentent eux-mêmes, quant à leur composition minéralogique, une identité frappante avec ceux qui constituent les vrais terrains houillers. On y observe des schistes argileux bien caractérisés alternant avec des grès micacés schisteux à grains de quartz très-fins, des grès quartzeux à grains moyens, souvent très-durs, des grauwackes à ciment argileux empâtant, avec beaucoup de quartz, du mica, du talc, des grains feldspathiques et amphiboleux. Les roches de cette espèce passent quelquefois à un poudingue remarquable par d'énormes noyaux, souvent anguleux, de quartz, d'eurite, de gneiss, de protogine et d'autres débris des terrains cristallisés, cimentés par du schiste argileux ou argilo-talqueux. L'anthracite et les empreintes végétales accompagnent principalement les schistes argileux et les grès quartzeux micacés. La puissance de ces roches arénacées est ordi-

Grès anthraciteux.

nairement médiocre et ne dépasse pas moyennement 100 à 150 mètres. Les circonstances de leur gisement sont assez variables. A Petit-Cœur en Tarentaise, les grès anthraciteux alternent avec les schistes argilo-calcaires à bélemnites, et leur sont tellement unis qu'il est impossible de les séparer géologiquement. Ailleurs, et c'est le cas le plus fréquent, les grès à anthracite se trouvent précisément à la jonction des roches talqueuses et des roches argilo-calcaires de manière à reposer sur les premières et à s'enfoncer sous les secondes, en offrant ordinairement avec les unes et les autres une liaison intime. Enfin, dans quelques cas, les grès paraissent plus particulièrement liés aux roches talqueuses; ils sont intercalés dans leur sein et paraissent leur être réellement subordonnés. En s'appuyant sur l'infériorité presque constante des grès anthraciteux par rapport aux schistes argilo-calcaires, et surtout sur l'opposition de leurs caractères paléontologiques, un grand nombre de géologues ont considéré et considèrent encore ces deux groupes de roches comme appartenant à des périodes géologiques distinctes (1). Mais nous ferons observer que les raisons paléontologiques invoquées à l'appui de cette distinction ne sont pas admissibles; car, même en faisant abstraction de Petit-Cœur, où les schistes à empreintes végétales ne peuvent être séparés de ceux qui renferment des bélemnites, on ne doit pas oublier que depuis les environs du Villard-d'Arène jusqu'au col du Bonhomme, c'est-à-dire sur une longueur de près de cent kilomètres, les schistes argilo-calcaires s'enfoncent sous des dépôts en partie arénacés qui con-

(1) Pendant longtemps, nous avons eu nous-même cette opinion qu'une étude plus approfondie des Alpes nous a fait abandonner.

stituent le terrain anthraxifère supérieur et où l'on trouve en abondance des restes de végétaux les plus caractéristiques des terrains houillers. De ce fait, reconnu vrai par tous les géologues qui ont étudié cette partie des Alpes, il résulte bien évidemment que puisque la formation argilo-calcaire à fossiles liassiques a précédé des assises arénacées à empreintes végétales houillères, on ne peut la séparer d'autres grès, qui en paraissent contemporains, uniquement parce que ceux-ci renferment aussi des restes de plantes de l'époque carbonifère. L'argument paléontologique étant écarté, il reste des discordances de stratification qui paraissent exister sur plusieurs points. En soumettant ces discordances à une vérification rigoureuse, nous les avons trouvées plutôt apparentes que réelles, ou au moins tellement incertaines que l'on ne pouvait rien en conclure. Quant aux intercalations bien positives des grès à anthracite dans le sein des roches talqueuses, on peut, suivant nous, les expliquer de la même manière que certaines intercalations toutes pareilles de la formation argilo-calcaire, c'est-à-dire par une altération métamorphique irrégulière du terrain anthraxifère inférieur. Nous rapporterons en conséquence à ce dernier terrain, et nous considérerons comme étant tous à peu près de la même époque les divers dépôts de grès anthraciteux dont nous allons maintenant donner une description succincte.

Nous avons dit plus haut que les schistes argilo-calcaires qui constituent le col de la Madeleine étaient coupés transversalement par l'Isère entre Moutiers et Petit-Cœur. Tout près de ce dernier village et dans le voisinage du terrain talqueux, on observe des grès anthraciteux à empreintes végétales remarquables par leur association intime avec des schistes à bélemnites. Cette association a été signalée pour la première fois

Grès de Petit-Cœur.

par M. Élie de Beaumont dans un mémoire connu de tous les géologues. Nous nous contenterons de donner ici en peu de mots la coupe du terrain telle qu'elle résulte de nos propres observations.

Les roches les plus basses sont formées de gneiss et de talcschiste faisant partie de la chaîne talqueuse que l'Isère traverse au-dessous de Petit-Cœur. Leurs couches sont dirigées vers le nord-nord-est et plongent fortement vers la région est. Sur ces roches cristallines reposent immédiatement en stratification concordante, des schistes argilo-talqueux passant à une grauwacke schisteuse à fragments irréguliers de quartz et de talcschiste. Cette grauwacke, dont l'épaisseur n'est que de quelques mètres, ne diffère pas essentiellement de celle que l'on trouve quelquefois intercalée au sein même du terrain talqueux, comme aux environs d'Allevard et près du Freney en Oisans. A ces couches arénacées succède un banc de schiste argilo-calcaire noir, très-fissile, renfermant des bélemnites très-minces, fusiformes et facilement reconnaissables à leur cassure transversale radiée. Ce schiste à bélemnites s'enfonce sous un système peu épais de grès et de schiste argileux, où l'on trouve de l'anthracite et un grand nombre d'empreintes végétales recouvertes d'un enduit talqueux qui les rend brillantes et comme argentées. Ces restes de végétaux, examinés par M. Adolphe Brongniart, ont été reconnus appartenir aux espèces suivantes : *Pecopteris polymorpha*, *Pecopteris arborescens*, *Pecopteris Beaumontii*, *Pecopteris Plukenitii*, *Pecopteris obtusa*. *Neuropteris tenuifolia*, *Odontopteris Brardii*, *Odontopteris obtusa*. Toutes ces fougères sont propres au terrain houiller. Au-dessus de ces grès anthraciteux à empreintes, on observe de nouveaux bancs de schiste argilo-calcaire qui renferment un grand nombre de

bélemnites. Ces derniers schistes font partie d'une série très-longue de roches de même nature, superposées les unes aux autres et se terminant près de Moutiers par une puissante assise de calcaire talqueux à structure bréchiforme, que nous avons montrée précédemment être le prolongement direct du calcaire des *Trois-Évêchés*. Les couches les plus basses, qui renferment alternativement des bélemnites et des empreintes de fougères, sont tellement liées entre elles qu'il est impossible de ne pas les rapporter à la même époque géologique. C'est sur ce fait remarquable que M. Élie de Beaumont a surtout insisté, et sa manière de voir a été partagée par tous les observateurs qui ont visité les lieux.

Grès de l'Oisans.

La vallée de la Romanche, aux environs du Mont-de-Lans en Oisans, est coupée, à peu près perpendiculairement à sa direction, par deux assises distinctes de grès anthraciteux dont l'épaisseur est médiocre, mais qui sont remarquables par leur continuité et leur liaison intime avec des roches cristallisées. La première assise, qui est la plus étendue, est composée de couches fortement inclinées vers l'est et dirigées à peu près du nord au sud. Sa puissance ne dépasse guère une centaine de mètres. Elle forme une bande arénacée très-distincte qui commence au sud près de Venosc, traverse le col des Mays et va couper la Romanche au-dessous du village de Bons, à 300 mètres environ à l'ouest de la galerie de l'Infernet, percée pour le passage de la grande route. Au delà de ce point, cette même bande de grès continuant à se diriger vers le nord, suit le flanc gauche d'un grand ravin nommé *Combe-Gillarde*, entre le Freney et Auris, et se prolonge jusqu'à l'extrémité la plus élevée des pâturages d'Huez, où elle disparaît sous les glaciers qui recouvrent le versant occidental de la chaîne des Grandes-Rousses. Sur toute cette lon-

gueur, qui est au moins de 12 kilomètres à vol d'oiseau, sa trace est marquée de distance en distance par des exploitations d'anthracite, dont les principales se trouvent sur le territoire de Venosc, du Mont-de-Lans et d'Huez. Les gîtes exploités sont peu épais et d'une allure irrégulière; ils renferment souvent des empreintes végétales, parmi lesquelles on distingue les suivantes : *Pecopteris polymorpha*, *Neuropteris cordata*, *Odontopteris Brardii*, *Annularia brevifolia*, *Annularia longifolia*, des *Cardiocarpon* et des *Sphenophyllum*. Les *Annularia brevifolia* et *longifolia* sont les espèces les plus communes.

Ce système de grès, à l'endroit même où il traverse la Romanche, près de la galerie de l'Infernet, est positivement intercalé à stratification concordante entre des roches gneissiques et euritiques. Cette intercalation se continue sur une certaine étendue du côté du sud, car on l'observe également entre les villages de Bons et du Ponteil. Au nord de la Romanche, ce même système de grès est tout à fait à découvert dans le ravin de Combe-Gillarde, mais là, tout en s'enfonçant comme précédemment sous des roches feldspathiques, il s'appuie sur des schistes argilo-calcaires à bélemnites, prolongement de ceux qui constituent le plateau d'Auris. Cette superposition, vue de près, est très-claire et peut se suivre sur plusieurs centaines de mètres de longueur.

La seconde assise de grès anthraciteux se trouve à l'est de la précédente et n'en est pas éloignée de plus de 2 kilomètres. Elle lui est parallèle et présente à peu près la même épaisseur moyenne; mais son étendue longitudinale est moindre. Elle commence au milieu des roches talqueuses situées immédiatement au-dessous du village du Mont-de-Lans, du côté du nord, et va couper la Romanche à quelques centaines de mètres en amont du village du Freney, bâti sur le bord de ce tor-

rent. De là, elle se prolonge dans la direction du sud au nord en suivant à peu près l'arête culminante d'une montagne composée de roches feldspathiques, entre les villages du Puy et de Mizoën. On la retrouve au nord de cette montagne, sur le chemin qui conduit du Gua à Clavans. Elle renferme en cet endroit, ainsi qu'aux environs du Freney, un poudingue à ciment talqueux et pétrosiliceux, empâtant des fragments arrondis ou anguleux de quartz, d'eurite, de protogine et de talcschiste. Au delà du chemin, ce poudingue devient de plus en plus puissant et sert de base à des couches de schiste argileux et de psammite avec veines irrégulières d'anthracite et quelques empreintes végétales peu distinctes. Ce système arénacé, dont la puissance est ici de plus de 200 mètres, occupe entièrement le fond et les deux versants d'un vallon où se trouvent les chalets de Pierre-Grosse et qui est ouvert dans le sein même de la chaîne des Rousses. A l'extrémité nord de ce vallon, ces grès disparaissent, sans diminuer d'épaisseur, sous les glaciers qui couronnent les sommités de la chaîne. De ce point au village du Mont-de-Lans, dont nous sommes parti, la distance en ligne droite est au moins de 7 kilomètres. Sur toute cette longueur, l'assise arénacée que nous avons suivie est complétement intercalée dans le sein du terrain talqueux. Cette intercalation est surtout évidente sur les bords de la Romanche, un peu en amont du Freney.

Grès des environs de la Mure.

De tous les dépôts arénacés appartenant au terrain anthraxifère inférieur, le plus remarquable par son épaisseur et son étendue, ainsi que par le nombre et la puissance des couches de combustible qu'il renferme, est situé aux environs de la Mure, sur le flanc occidental d'une vallée qui s'étend depuis ce bourg jusqu'à Laffrey. Les roches qui la composent offrent toutes les

variétés de grès anthraxifères qui ont déjà été mentionnées. Ces grès présentent plusieurs affleurements à l'ouest de la Mure, sur le territoire des communes de Prunières et de Susville, mais ils sont surtout développés plus au nord, entre les villages de Notre-Dame de Vaulx, de Monteynard, de la Motte-d'Aveillans et de Pierre-Châtel. C'est là que se trouvent de nombreux gîtes d'anthracite, dont quelques-uns atteignent sur certains points jusqu'à 20 mètres de puissance. Ils affectent la forme d'amas lenticulaires plus ou moins étendus, ou bien ils constituent des couches repliées sur elles-mêmes en zigzag ou se relevant de touscôtés pour former le berceau. En général, ils affectent tous les genres d'allures propres aux dépôts houillers. On y trouve de nombreuses espèces de végétaux fossiles appartenant à la flore carbonifère. Nous allons en citer quelques-unes en plaçant en regard les mines où elles ont été recueillies :

Pecopteris oreopteridius. . .	Notre-Dame de Vaulx.
Pecopteris Candolliana. . . .	Notre-Dame de Vaulx et Grande-Draye.
Pecopteris Grandini.	Grande-Draye.
Pecopteris cyathea.	Villaret, Grand-Menay.
Pecopteris arborescens. . .	Villaret, Grand-Menay.
Pecopteris pteroides.	Peychagnard.
Sigillaria Defrancii.	Grande-Draye.
Sigillaria Dournaisii.	Grand-Menay.
Annularia brevifolia.	Grande-Draye, les Boines, etc.
Asterophyllites tenuifolia. . .	Notre-Dame de Vaulx.
Lepidophyllum (plusieurs espèces).	Saint-Théoffrey.

On a trouvé au Peychagnard et à la Grande-Draye des *Lepidodendron* et des *Stigmaria* dont la détermination spécifique n'a pû être faite avec une certitude suffisante, mais on sait que ces genres sont exclusivement propres aux terrains houillers.

Les grès des environs de la Mure reposent en stratification concordante sur des talcschistes faisant partie de la grande formation talqueuse des Alpes, et sont immédiatement recouverts par un calcaire gris cristallin ayant une puissance d'environ 5 à 6 mètres. On observe ce calcaire à Nantison, près de la Mure, au Villaret, au-dessus de Peychagnard, et aux environs de Laffrey. Dans ces divers lieux, il renferme des fossiles propres au lias, parmi lesquels on peut citer les suivants : *Terebratula variabilis* (Sow.), *Terebratula numismalis* (Lamk.), *Plagiostoma punctata* (Sow.), *Gryphæa cymbium* (Sow.), et des *Spirifer* d'espèces liassiques. Il est à remarquer que cette assise calcaire repose sur les grès à anthracite en stratification discordante. Cela est surtout évident entre les villages du Villaret et du Peychagnard, où, sur une longueur de plusieurs kilomètres, elle s'appuie sur les tranches presque verticales d'une longue série de grès alternant avec des couches de combustible. Les travaux d'exploitation que l'on a entrepris dans le sein de plusieurs de ces couches et que l'on a prolongés jusqu'au contact du calcaire supérieur, ont mis le fait hors de doute. Aux environs de Laffrey, on voit la même assise calcaire s'étendre indifféremment sur des grès anthraciteux qui bordent le grand lac, sur des talcschistes et des gneiss situés au nord-ouest du lac Mort, et sur des schistes argilo-calcaires que l'on rencontre en sortant du village de Laffrey, du côté de Vizille. On ne peut donc se refuser à admettre qu'entre Laffrey et la Mure, les grès à anthracite sont indépendants des couches à fossiles liassiques qui les surmontent; mais il est essentiel de faire observer que ces couches n'appartiennent point au terrain anthraxifère inférieur. Elles forment la base d'un système en grande partie marneux à fossiles jurassi-

ques, dans le sein duquel on ne trouve aucuns restes de végétaux houillers et qui se termine par une assise calcaire ordinairement très-épaisse, offrant les fossiles les plus caractéristiques de l'étage oxfordien. Ce terrain jurassique normal, dont la puissance très-variable peut atteindre moyennement 600 à 700 mètres, occupe toute la vallée du Drac à l'ouest de la Mure. De là il se prolonge vers le sud jusque dans le département des Basses-Alpes, où sa partie inférieure est surtout riche en fossiles du lias. Vers le nord-est, il passe de la vallée du Drac dans celle de l'Isère, dont il constitue le flanc droit en amont de Grenoble, et de cette ville il s'étend à travers la Savoie jusque dans le Valais. Sur toute cette longueur, ce terrain conserve un aspect et des caractères paléontologiques qui lui sont propres et qui le distinguent nettement du système anthraxifère. Nous insisterons sur la distinction qui vient d'être faite, parce que plus d'une fois on a opposé le gisement des grès à anthracite des environs de la Mure à celui de Petit-Cœur. Ces deux gisements n'offrent en réalité aucune contradiction, puisque les terrains avec lesquels les grès sont en contact sont différents.

Grès des environs de Valbonnais.

Il existe aux environs de Valbonnais, à l'est de la Mure, une bande de grès à anthracite qui, par sa continuité sur une grande longueur et les circonstances de son gisement, offre de l'analogie avec celles de la vallée de la Romanche. Ces grès commencent près du village d'Auris en Rattiers, à 4 kilomètres ouest-nord-ouest de Valbonnais; de là, suivant une direction parallèle à la ligne nord-63°-ouest, ils vont passer derrière le village même de Valbonnais, puis successivement par les villages de la Roche, du Villard et de Gragnolet, hameaux dépendant de la commune d'Entraigues. Leur prolongement s'observe encore au sud de Valjouffrey, sur le

chemin qui conduit au col dit de Prades ou de Praolos, par lequel on se rend à Corps. La distance en ligne droite des deux extrémités de cette bande de grès est au moins de 10 kilomètres.

A Auris, le terrain présente la coupe suivante, en allant de bas en haut :

1° Des couches de schiste argilo-calcaire appartenant au terrain anthraxifère inférieur. Elles ont une direction parallèle à celle de la bande anthraxifère et plongent fortement vers la région nord-est;

2° Des calcaires altérés, dolomitiques, associés à des bancs de spilite à base d'aphanite verdâtre, avec mica bronzé et autres minéraux disséminés ;

3° Des psammites, des schistes argileux et des grès quartzeux alternant ensemble et offrant les caractères habituels de ces espèces de roches dans le terrain anthraxifère;

4° Des grauwackes à base de schiste argilo-talqueux ou micacé, offrant de gros fragments de quartz et d'autres roches cristallines. Ces grauwackes, par la disparition successive de leurs fragments, passent au talcschiste ;

5° Des talcschistes intimement liés aux roches précédentes et dans lesquels on n'aperçoit aucune trace distincte de structure arénacée;

6° Des gneiss et d'autres roches feldspathiques semblables à celles que l'on rencontre habituellement dans le terrain talqueux.

Il résulte de cette coupe très-intéressante que les grès sont ici, comme presque partout, situés à la jonction du schiste argilo-calcaire et du terrain talqueux ; mais que, par une de ces exceptions qui sont fréquentes dans les Alpes, les couches cristallines recouvrent les roches de sédiment. Nous ajouterons en passant que les bancs

de spilite sont distinctement stratifiés, et que même, sur quelques points, ils affectent une structure schisteuse.

A Valbonnais, cette bande de grès a une épaisseur d'environ 150 mètres. Elle renferme quelques couches d'anthracite sur lesquelles on a fait à plusieurs reprises des travaux de recherches qui, étant peu fructueux, ont fini par être abandonnés. Parmi les déblais sortis des galeries, on a trouvé des schistes à empreintes de fougères se rapportant aux espèces *Pecopteris arborescens* et *Pecopteris platyrachis*. Non loin de ces travaux, il existe une carrière de gypse et l'on voit épars sur le sol de nombreux blocs de spilite qui prouvent qu'un peu plus haut le calcaire avoisinant les grès a subi l'altération spilitique. Ces grès sont évidemment intercalés entre le calcaire et les talcschistes, et il est probable, d'après l'inclinaison constante et régulière de la stratification vers le nord-est, qu'ils s'enfoncent, comme à Auris, sous le terrain talqueux; mais la végétation qui couvre la ligne de contact empêche de vérifier le fait d'une manière positive.

Grés des environs d'Allevard.

On observe aux environs d'Allevard deux assises de grès très-distinctes sous le rapport du gisement.

La première, composée de schiste argileux, de phyllade, de psammite et d'un poudingue à gros fragments de roches cristallines, est intercalée dans le sein même du terrain de gneiss et de schiste talqueux. L'endroit où l'intercalation de ces roches arénacées se montre avec le plus d'évidence est situé à l'est d'Allevard, entre le Habert les *Mollies* et le lac du Collet. En suivant la crête qui domine au sud le lac, on voit les bancs de poudingue et de phyllade alterner à plusieurs reprises avec le gneiss et le talcschiste. Le poudingue, dont on rencontre de gros blocs roulés dans la gorge

de Veyton et dans celle de Bréda est semblable à la roche de même nature que nous avons déjà signalée dans la vallée de la Romanche. Ce système de grès, dont la puissance varie beaucoup, peut se suivre sur une étendue considérable. Il forme notamment au nord du village de Pinsot une sommité nommée le *Crêt de Montmayen* où l'on trouve des indices d'anthracite qui ont été l'objet de plusieurs fouilles et des schistes argileux exploités comme ardoises.

La seconde assise arénacée est située précisément à la jonction du terrain talqueux et des couches argilo-calcaires à bélemnites. Elle se montre bien à découvert à l'entrée de la gorge de Bréda, près des usines à fer, où les couches sont coupées perpendiculairement à leur direction. On y observe une grauwacke qui ne diffère du poudingue du lac du Collet que par une grosseur moindre dans les fragments empâtés et une plus grande abondance de quartz. Elle est associé à des phyllades, à des schistes argileux de couleurs variées et à des bancs de grès quartzeux à grains plus ou moins fins. Ces diverses roches où l'on trouve quelquefois des nids et de petits filons de fer carbonaté spathique, succèdent aux schistes talqueux sans changement appréciable dans la stratification, et leur sont intimement liées (1).

Grès de Valorsine.

Les grès et poudingues de Valorsine, connus de tous les géologues depuis qu'ils ont été l'objet d'une des observations les plus importantes de Saussure, sont tout à fait comparables, sous le rapport du gisement et de la composition minéralogique, aux roches de même nature que l'on observe à Allevard et sur d'autres points des Alpes déjà cités. Ce système arénacé re-

(1) Voyez, pour plus de détails sur le gisement des grès à anthracite à Allevard, à la Mure et dans l'Oisans, les *Annales des mines*, 3ᵉ série, t. XVI, p. 381.

pose immédiatement sur le terrain de protogine et constitue le sommet de la colline des *Ceblancs* située à l'ouest du col de Balme. La partie la plus élevée du terrain cristallin est formée d'un gneiss rougeâtre passant au micaschiste. Immédiatement au-dessus, on voit une masse considérable de poudingue à base de schiste rouge, micacé, siliceux et à fragments de quartz, de gneiss, de talcschiste et d'autres roches cristallines. Le schiste micacé formant la base du poudingue est quelquefois entièrement dépourvu de cailloux; alors il ressemble tellement au gneiss rougeâtre sur lequel il repose, qu'il est impossible de tracer entre les deux terrains une ligne de démarcation exacte. Le poudingue alterne à plusieurs reprises dans sa partie supérieure avec des grès quartzeux micacés et des schistes argileux renfermant des empreintes végétales peu distinctes; puis ces roches sont recouvertes à stratification concordante par un groupe très-épais de calcaire noir schisteux, qui constitue le col de Balme. Ce calcaire schisteux s'enfonce lui-même à l'ouest sous les couches de gneiss et de protogine appartenant au massif du Mont-Blanc. Cette superposition des roches cristallines sur le schiste n'existe pas seulement au col de Balme; elle se continue sur toute la longueur de la vallée de Chamouny. On l'observe très-bien au mont Lacha, et nous l'avons vérifiée encore plus au sud, au-dessus de Bionnay.

Nous pourrions citer encore bien d'autres groupes de couches arénacées appartenant au terrain anthraxifère inférieur, tels sont ceux du Trient, de Sainte-Arèche et Haute-Luce, d'Ugine, du col de la Petite-Arve en Savoie, de Saint-Barthélemy-de-Schillienne (Isère), d'Aspres-les-Corps (Hautes-Alpes), etc.; mais ce qui précède nous paraît suffisant pour donner

une idée exacte des caractères et des circonstances de gisement de ces dépôts remarquables.

Résumé.

En résumé, la partie occidentale du terrain anthraxifère inférieur est essentiellement composée d'une série très-épaisse de schistes argilo-calcaires, couronnée, du côté de la Savoie, par une puissante assise de calcaire grenu quelquefois bréchiforme. Ces schistes noirs et très-fissiles présentent partout à peu près le même aspect et les mêmes caractères, sauf toutefois quand ils sont immédiatement en contact avec des roches cristallines. Ils subissent alors des modifications notables dans leur texture et leur composition minéralogique. Ils reposent immédiatement sur la grande chaîne talqueuse qui s'étend du Mont-Blanc au mont Pelvoux, en offrant avec elle des relations compliquées, souvent contradictoires. Ils sont caractérisés, sous le rapport paléontologique, par des ammonites, des bélemnites et d'autres fossiles d'espèces propres au lias. Sur plusieurs points ils sont associés à des couches arénacées anthraciteuses renfermant des empreintes végétales exclusivement houillères. Ces grès, avec dépôts d'anthracite, sont, dans certains cas, superposés aux schistes à bélemnites, ainsi qu'on le voit à Petit-Cœur, à Combe-Gillarde en Oisans et à Auris près de Valbonnais; ailleurs ils sont recouverts par les schistes argilo-calcaires; enfin sur quelques points ils sont positivement intercalés dans le sein même du terrain talqueux. Malgré cette diversité de gisement, d'ailleurs susceptible d'être expliquée par le métamorphisme, ces grès ont entre eux trop de similitude sous le rapport de la composition minéralogique et des végétaux fossiles pour n'être pas rapportés tous à une seule et même époque qui est celle du terrain anthraxifère inférieur.

§ 2. Zone orientale.

Nous avons dit précédemment que le terrain anthraxifère inférieur, à l'est du Chardonnet, avait pour limite supérieure une assise calcaire dans le sein de laquelle sont ouverts les cols de *Désertes* et de l'*Ours* sur la frontière du Piémont. Cette assise qui, par sa position géologique, correspond exactement à celle des *Trois-Évêchés*, l'emporte encore sur elle en puissance et en étendue. Nous allons indiquer quel est son prolongement d'abord vers le nord, en Savoie, puis au sud, dans le département des Hautes-Alpes.

Prolongement du calcaire de *Désertes*.

Du côté de la Savoie, l'assise calcaire de *Désertes* affecte d'abord la direction N.-N.-O., et après avoir formé de hautes sommités à l'est des Acles et du col de la Lauze, elle s'abaisse rapidement et traverse la vallée de Bardonèche entre ce bourg et le village de Melezet; puis s'élevant de nouveau, elle constitue l'arête de rocher qui sépare le col de la Roue de celui de Fréjus. Entre ces deux cols, elle subit une inflexion brusque qui la fait tourner vers le N.-E. En prenant cette nouvelle direction, elle borde à droite le vallon de Pelouze par lequel on descend à Brames en Maurienne, et depuis ce village jusqu'à Termignon, elle forme une série d'escarpements le plus souvent gypseux dont le pied est baigné par la rivière d'Arc. A Termignon, ces bancs calcaires sont recouverts par des schistes micacés métamorphiques du terrain anthraxifère supérieur, mais ils reparaissent un peu plus loin sur le chemin qui conduit à Entre-deux-Eaux. En continuant à les suivre, nous nous sommes assuré qu'ils s'infléchissaient vers l'est-nord-est et qu'ils allaient passer au sommet même du col du mont Iseran; puis que reprenant leur direction nord-est, ils franchissaient les frontières du Piémont au col de la Lenta.

Le calcaire de *Désertes* que nous venons de suivre dans la Maurienne et dans la Tarentaise se prolonge également du côté opposé et traverse dans toute son étendue l'extrémité nord-ouest du département des Hautes-Alpes. Il constitue d'abord le pic de *Chaberton* qui domine le col du Mont-Genèvre. Les bancs calcaires de cette haute montagne sont dirigés du nord au sud avec une inclinaison variable, mais constante, vers l'ouest. Leur prolongement méridional passe un peu au-dessus du village de Clavières. Plus loin, ils forment, en se relevant, un énorme rocher au pied duquel est bâti le village de Cervières. A partir de là, ils bordent à l'est dans toute son étendue le vallon des Oules qui conduit de Cervières au col Perdu, passage difficile et peu fréquenté situé entre le col Péas et celui d'Hysoire. Du col Perdu, ce calcaire descend dans le Queyras où il forme une bande de rocher remarquable qui s'infléchit de plus en plus vers le sud-est et entoure comme d'une ceinture le mont Viso et le pays adjacent entièrement composé de schistes cristallins. Cette bande calcaire sépare le vallon de Péas de celui de Soulier, et va couper le Guil un peu à l'ouest de Château-Queyras. Au delà de ce point, elle constitue les rochers que l'on a à sa droite en allant de Château-Queyras au col du Fromage, puis les sommités qui séparent le vallon de Saint-Véran de celui de Ronsen. Enfin, elle atteint les limites des Basses-Alpes au col de Longet, par lequel on communique de Saint-Véran dans la vallée de Mauren, et après avoir traversé obliquement cette vallée, elle rencontre bientôt les frontières de Piémont.

Étendue de la zone orientale; ses caractères généraux.

En traçant sur une carte cette longue ligne d'affleurement du calcaire de *Désertes*, on voit qu'elle a la forme d'un arc de cercle convexe vers le nord-ouest, et dont le milieu se trouve à peu près au col de Fréjus, près de

Bardonèche. A partir de ce point, ses deux branches s'étendent au delà des frontières de Piémont, en traversant d'un côté la partie supérieure de la Maurienne et de la Tarentaise, et de l'autre le Briançonnais et l'extrémité nord-est de l'arrondissement de Barcelonnette. Les couches comprises dans l'intérieur de cet arc de cercle constituent la haute vallée de Mauren (Basses-Alpes), la partie orientale du Queyras et les vallées du Piémont qui sont adjacentes, le vallon du Bourget au-dessus de Cervières, la vallée de la Doire entre Oulx et Césane, les environs du Mont-Cenis, enfin les extrémités les plus élevées de la Maurienne et de la Tarentaise, près des sources de l'Arc et de l'Isère. Ces diverses contrées offrent entre elles une ressemblance remarquable sous le rapport de l'aspect physique et de la composition minéralogique du sol. Les roches dominantes sont des schistes argileux où abondent le mica, le talc, le quartz, le calcaire cristallin, et qui sont associés soit à de véritables micaschistes, soit à des calcaires blancs grenus (1). Sur un assez grand nombre de points, ils renferment des bancs subordonnés de serpentine, notamment aux environs de Césane, de Cervières, du col de Bousson au col de Péas et dans le vallon de Saint-Véran en Queyras.

Ces schistes, souvent friables et très-fissiles, ne diffèrent de ceux qui constituent la région occidentale du terrain anthraxifère inférieur que par leur composition plus cristalline. Leur aspect général est d'ailleurs

(1) A une heure de distance de Perréro, village piémontais situé entre Pignerol et le col de Pralis, ces calcaires sont assez développés pour être l'objet d'une exploitation suivie. Ils fournissent un marbre blanc assez beau, quoique nuancé de veines rousses. Leur puissance totale est de 8 à 10 mètres. Ils sont subordonnés à un terrain de micaschiste renfermant beaucoup de grenats rougeâtres.

absolument le même. Leur puissance est vraiment énorme. Sous ce rapport aucune formation secondaire ne peut leur être comparée. Il faut, pour avoir quelque chose d'approchant, descendre dans les terrains de transition jusqu'au système silurien. En étudiant leurs relations géologiques, on reconnaît que d'un côté ils sont partout recouverts par l'assise calcaire du col de Désertes ou par son prolongement, et que de l'autre ils reposent immédiatement sur les roches de granite et de gneiss qui constituent en partie le Mont-Cenis, le mont Viso, ainsi que les montagnes qui, à l'ouest de la plaine de Turin, forment les derniers gradins des Alpes. Ordinairement il y a entre ces deux terrains des couches de talcschiste plus ou moins micacé établissant une transition de l'un à l'autre.

Jusqu'à présent on n'a trouvé dans le sein de la zone orientale du terrain anthraxifère inférieur aucune trace d'ammonite, de bélemnite ou d'autres corps organisés. Ce qui n'est pas moins remarquable, c'est que le grès à anthracite avec empreintes végétales houillères dont nous avons cité de nombreux dépôts dans la Savoie et le département de l'Isère, manquent complétement du côté du Piémont. Leur absence ne peut être attribuée au métamorphisme. Elle tient probablement à ce que la mer vaste et profonde dans le sein de laquelle s'est formé le terrain anthraxifère inférieur ne s'étendait pas beaucoup à l'ouest. De ce côté, ses rivages coïncidaient à peu près avec les frontières de la France. C'est là par conséquent que vivaient les mollusques et où les courants ont pu déposer des matières arénacées et des débris de végétaux, tandis qu'à l'est et au nord-est, tout annonce que cette mer s'est étendue bien au delà de l'Italie et de la chaîne des Alpes occidentales. La grande profondeur des eaux et l'éloignement de la terre ferme

ont dû être peu favorables à la production et à l'ensevelissement des êtres organisés.

Nous nous bornerons à ces généralités sur ce terrain immense en étendue et en épaisseur, dont les caractères paléontologiques sont négatifs et que nous avons dû rapporter au terrain anthraxifère inférieur de l'Oisans et de la Savoie, à cause de l'identité de leur position géologique et de l'analogie de leur constitution.

II. TERRAIN ANTHRAXIFÈRE SUPÉRIEUR.

Nous suivrons, pour la description du terrain anthraxifère supérieur, la même marche que pour l'inférieur. Chaque étage sera distingué en zone occidentale et en zone orientale relativement à la montagne du Chardonnet, sommet géologique de la contrée. Nous ferons connaître pour chaque zone le prolongement des assises calcaires qui leur servent de limite supérieure ; puis nous ajouterons à ces généralités quelques détails particuliers sur les localités les plus intéressantes.

§ 1er. Premier étage.

1° *Zone occidentale.* — On a vu plus haut que le premier étage anthraxifère, à l'ouest du col du Chardonnet, reposait immédiatement sur le calcaire des *Trois-Évêchés*, et que sa partie la plus élevée était formée d'une autre assise nommée par nous calcaire de la *Mendette*. Le prolongement de l'assise des *Trois-Évêchés* a déjà été indiqué. Il nous reste à faire connaître celui du calcaire de la *Mendette*. En traçant sur une carte ces deux lignes d'affleurement, l'espace compris entre deux représentera exactement celui qu'occupe la zone occidentale du premier étage.

Prolongement du calcaire de la *Mendette*.

Le calcaire de la *Mendette*, suivi du côté de la Savoie, se dirige d'abord vers le nord-ouest et va constituer le sommet du col de Goléon, et plus loin le revers occi-

dental des *Trois-Aiguilles d'Arve*, auxquelles il sert immédiatement de base. En cet endroit, remarquable sous plus d'un rapport, ce calcaire s'infléchit brusquement vers le nord-nord-est, et laissant à l'est le col des pics par lequel on se rend de Saint-Jean-d'Arve à Bonne-nuit, il se prolonge en ligne droite jusqu'aux environs de Saint-Martin-de-Belleville en Tarentaise. Dans l'intervalle, il traverse la vallée de la Maurienne, précisément à l'endroit où est bâti le village de Saint-Jullien. Près de Saint-Martin-de-Belleville, il se dévie légèrement à droite, de manière à se rapprocher davantage de la ligne nord-est, et il suit cette nouvelle direction jusqu'à ce qu'il ait atteint un point situé à peu près à moitié chemin entre Aime et le col du Cormet en Tarentaise. Dans ce trajet, il coupe la vallée du Doron un peu à l'ouest de l'établissement thermal de Brides, et la vallée de l'Isère au village de Villette, connu par ses carrières de marbre brèche. Entre Aime et le col du Cormet, les couches de ce calcaire subissent un contournement considérable qui les fait tourner brusquement vers l'est. Elles courent dans ce sens jusqu'au delà du bourg Saint-Maurice et servent de support au village du Châtelard. Après avoir été coupées en cet endroit par le torrent qui descend du col du Bonhomme, elles prennent de nouveau la direction nord-est et vont constituer les cimes qui dominent immédiatement au nord le passage du Petit-Saint-Bernard et le vallon de la Thuile par lequel on se rend en Piémont.

Le calcaire de la *Mendette* dont nous venons d'indiquer la trace au nord du col du Galibier, ne s'étend presque pas vers le sud. De ce côté, il va couper la Guisanne entre la Madeleine et le Lauzet; puis il ne tarde pas à disparaître, car les couches qui paraissent former son prolongement géologique sur le flanc droit

de la vallée sont entièrement composées de protogine et de roches euritiques.

On peut étudier commodément et d'une manière complète le premier étage anthraxifère en suivant la vallée de l'Arc depuis Villard-Clément jusqu'à Saint-Jullien, en parcourant les environs de Moutiers et en descendant du col du Bonhomme à Saint-Maurice en Tarentaise. Nous allons entrer dans quelques détails sur ces diverses localités.

De Villard-Clément à Saint-Jullien.

Les couches du premier étage, dont l'épaisseur totale est au moins de 400 à 500 mètres aux environs du Galibier, acquièrent une puissance bien plus considérable au delà de ce col. Dans la vallée de la Maurienne, leur assise la plus basse est représentée par une grande épaisseur de grès schisteux qui commencent au pont sur l'Arc au-dessous de Villard-Clément, et s'étendent jusqu'à ce village. A ces grès, qui sont micacés et à grains fins de quartz, succède une longue série de calcaires schistoïdes alternant avec des schistes argilo-calcaires et argileux, et se terminant au village de Saint-Jullien par une dernière assise calcaire, prolongement direct de celle de la *Mendette*. Après, viennent d'autres grès appartenant au deuxième étage anthraxifère.

Tout ce système de couches est dirigé à peu près du sud au nord, avec une forte inclinaison vers l'est. Sa partie moyenne étant formée de schiste argilo-calcaire, n'est pas nettement séparée des assises de calcaire schisteux situées au-dessus ou au-dessous; en sorte que dans cette localité la subdivision du premier étage anthraxifère en deux sous-étages n'est pas aussi distincte qu'ailleurs.

Environs de Moutiers.

Le petit bassin qui renferme vers son extrémité nord la ville de Moutiers et au sud le village de Salins, est

entièrement formé de couches appartenant à la base du même étage. La succession de ces couches et de celles qui viennent immédiatement au-dessus se voit d'une manière très-nette en remontant le vallon du Doron depuis le village de Salins jusqu'à celui de Brides, situé à 4 ou 5 kilomètres plus haut. Les roches les plus basses sont des grès quartzeux et des schistes argileux contenant quelques gites d'anthracite que l'on exploite à Villarlurin. On y observe des empreintes végétales peu distinctes. Ces grès reposent évidemment sur une assise calcaire en partie gypseuse, au pied de laquelle Salins est bâti, et qui est le prolongement du calcaire des *Trois-Évêchés;* ils plongent fortement du côté de l'est et s'enfoncent sous des marnes schisteuses ayant la même inclinaison. Les escarpements à pic qui bordent à droite le torrent du Doron mettent ces relations tout à fait à découvert. A ces marnes schisteuses succède une assise épaisse de calcaire qui traverse le vallon à peu près à moitié chemin entre Salins et Brides. Sur ce calcaire s'appuie une nouvelle série de marnes et de schistes argileux d'abord tendres, puis successivement plus durs et plus compactes, et se terminant par une seconde assise calcaire non moins puissante que la précédente. Cette assise, qui peut être rattachée sans solution de continuité au calcaire de la *Mendette*, coupe le torrent à l'endroit même où l'on a bâti l'établissement thermal de Brides.

Cet ensemble de couches appartient au premier étage anthraxifère, et l'on voit que dans le vallon du Doron, comme dans celui du Galibier, il se divise naturellement en quatre assises formées alternativement de roches schisteuses en partie arénacées et de calcaire en grande masse.

Les diverses assises dont nous venons d'indiquer la De Moutiers à Villette.

succession depuis Salins jusqu'aux bains de Brides sont dirigées vers le N.-N.-E., et leur prolongement direct constitue, à quelques kilomètres de là, tout le terrain coupé par l'Isère entre Moutiers et Villette; mais ici les couches ont subi des dislocations et des contournements qui rendent leurs relations mutuelles beaucoup moins faciles à saisir. Au nord de Moutiers, à une petite distance de cette ville, on observe une assez grande épaisseur de grès avec anthracite s'appuyant du côté de l'ouest, contre le grand rocher calcaire de la Madeleine, que nous avons vu être le prolongement direct de celui des *Trois-Évêchés*. Ce système arénacé doit être considéré comme correspondant exactement aux grès de Villarlurin. Suivi du côté de l'est, le long de la grande route qui conduit à Villette, il présente des bancs de quartz micacé et de talcschiste passant au gneiss, alternant avec des schistes argileux. Le prolongement de ces couches sur la rive gauche de l'Isère passe sous la forêt des Routes où il y a une mine d'anthracite. A ce groupe de roches arénacées en partie cristallines succède une longue série de bancs calcaires et marneux prenant quelquefois une structure bréchiforme. Ils constituent un défilé de plusieurs lieues de longueur divisé en plusieurs petits bassins irréguliers par des élargissements et des étranglements successifs. Les couches sont généralement dirigées vers le N.-N.-E., mais avec une inclinaison variable, tantôt à l'est, tantôt à l'ouest, ce qui est dû à des contournements. Le premier rocher que l'on rencontre à l'entrée du défilé du côté de Moutiers paraît être un repli de l'assise calcaire de la Madeleine; car, considéré dans son ensemble, il plonge vers l'ouest. Au delà de ce rocher, lorsqu'on a atteint le village de Pombières, l'inclinaison des couches change de sens, et l'on rencontre bientôt une assise de grès fins,

micacés, et de schiste argileux plongeant vers l'est. Ces grès, malgré l'intervalle qui les sépare de ceux de Moutiers, sont peut-être situés au même niveau géologique. Plus loin, on traverse une grande épaisseur de calcaire grenu et de calcaire schisteux alternant ensemble; le tout est terminé, près du village de Villette, par une puissante assise de calcaire grenu, dans le sein de laquelle l'Isère s'est frayé un étroit passage. Cette assise, prolongement rigoureux de celle qui coupe la vallée du Doron aux bains de Brides, renferme des bancs subordonnés d'une brèche dite de la Tarentaise, composée d'une pâte de calcaire grenu et de fragments irréguliers de calcaire compacte, de talcschiste et quelquefois de quartz. On y observe encore une autre variété de brèche analogue à celle de la Madeleine. Elle est formée de noyaux aplatis de calcaire grenu ou compacte empâtés dans un calcaire schisteux d'une couleur un peu différente. Les bancs les plus élevés de cette assise plongent vers l'est-sud-est et s'enfoncent de tout côté sous une puissante formation de roches arénacées anthraxifères appartenant au deuxième étage. On y a trouvé quelques débris de coquilles appartenant aux genres *Pecten*, *Bélemnites*, etc., mais les espèces en sont restées indéterminées.

Du col du Bonhomme au bourg Saint-Maurice.

Vers l'extrémité nord-est de la Tarentaise, entre le col du Bonhomme et le bourg Saint-Maurice, le premier étage anthranxifère acquiert presque subitement une épaisseur énorme qui peut être évaluée au moins à 1.500 ou 2.000 mètres. Sa partie inférieure, composée de grès quartzeux, de quartz compacte ou grenu et de schiste argileux, paraît être entièrement dépourvue de couches d'anthrâcite. Elle s'appuie immédiatement contre le versant sud du col du Bonhomme et constitue une arête de rocher élevée que l'on a sur sa droite en mon-

tant au col et que les habitants du Chapiu appellent le petit mont Blanc. A ces grès succède d'abord une assise assez épaisse de schiste argileux gris, bleuâtre, dans lequel est creusé le petit vallon qui conduit du Chapiu au col de la Seigne ; puis une puissante masse de calcaire grenu, souvent micacé et pénétré de veines quartzeuses qui renferme des bancs subordonnés d'une brèche à noyaux aplatis et à ciment de calcaire schisteux, comme celle de Villette et de la Madeleine. On observe des fragments roulés de cette brèche au sud du col de la Seigne et tout près du Chapiu, sur la droite du chemin, en descendant à Bonneval. Cette masse calcaire et le groupe arénacé immédiatement inférieur, paraissent représenter les deux premières assises du premier étage anthraxifère. Cet ensemble de couches a une inclinaison sensible vers le sud-ouest, et quand on est arrivé aux chalets des Crêts situés à peu près à moitié chemin entre Bonneval et le Chapiu, on voit qu'il s'enfonce sous une nouvelle assise de schiste argileux servant de base aux pâturages environnants. Ce schiste argileux est lui-même recouvert par des bancs alternatifs de schiste talqueux, de quartz micacé, de phyllade et de poudingue à base de schiste micacé, empâtant des fragments de quartz et de calcaire. Ces diverses roches constituent des escarpements qui encaissent le vallon à droite et à gauche, jusqu'à ce que l'on ait atteint Bonneval. Un peu au delà de ce village, ce groupe de schistes micacés et quartzeux, correspondant à la troisième assise de l'étage, plonge sous une grande épaisseur de calcaire grenu ou compacte, parfois marneux, formant les parois d'un gorge très-resserrée qui aboutit à la vallée de l'Isère. La partie la plus élevée de cette quatrième et dernière assise est une masse de calcaire un peu cristallin, quelquefois bréchiforme, que

l'on exploite pour les constructions au village du Chatelard, à un quart de lieue du bourg Saint-Maurice. Ce calcaire sert de support immédiat à une puissante formation arénacée, prolongement rigoureux de celle qui recouvre le calcaire de Villette cité plus haut.

Le premier étage anthraxifère continue encore vers le nord-est et s'étend bien au delà des limites de la Tarentaise. Il constitue dans le Piémont le Cramont, les environs de Courmayeur, etc. Nous ne le suivrons pas jusque-là, et nous passerons à la description de sa zone orientale.

Prolongement du calcaire de l'*Echelle*.

2° *Zone orientale.* — La zone orientale du premier étage a pour limite supérieure l'assise calcaire du col de l'*Échelle.* Voici la série des points par lesquels passe ce calcaire suivi dans son prolongement soit en Savoie, soit dans le département des Hautes-Alpes. Il se dirige d'abord vers le N.-N.-O. jusqu'aux chalets de Val-Étroite où il forme la partie la plus élevée de la montagne dite des *Trois-Sœurs*, dont l'extrémité nord sépare le col de la Somme de celui de la Roue; puis, s'infléchissant vers le N.-N.-E., il va couper l'arc un peu à l'est de Modane. Au delà de ce point, il constitue le flanc droit du vallon de Pralognan, jusqu'aux environs de ce village, où, subissant comme toutes les couches environnantes une nouvelle inflexion, il tourne vers le N.-E. Après avoir traversé le chemin qui conduit au col de la Vannoise, à l'endroit où sont les lacs, il s'enfonce pendant quelque temps sous les glaciers pour reparaître au sud de Tignes. Là, il barre complétement la haute vallée de l'Isère, sauf un passage très-étroit qui donne une issue à cette rivière; puis, suivant toujours la même direction, il se prolonge dans le Piémont en formant sur les frontières de la France le pic élevé de la Sassière.

Dans les Hautes-Alpes, le calcaire de l'*Échelle* traverse tout l'arrondissement de Briançon, en courant du N.-10°-O. au S.-10°-E. Après avoir servi de support au village de Plampinet, il forme au delà, jusqu'à la Vachette, les premiers escarpements calcaires qui bordent à droite la vallée de la Clarée. A la Vachette, il traverse obliquement cette vallée, et laissant à l'ouest la ville de Briançon et les forts environnants, il coupe le vallon de Cervières, près du hameau de Terre-Rouge. Plus loin, il passe successivement par le col d'Hysoire dont il constitue le flanc oriental, par le village d'Arvieux, par celui de la Chapelu près de Veyer; enfin il atteint les frontières du Piémont aux environs du col de Mauren.

En traçant sur une carte cette ligne d'affleurement et celle du calcaire de *Désertes* précédemment indiquée, on voit que la zone orientale du premier étage, comprise entre deux, forme une bande de terrain continue, presque demi-circulaire, dont le développement total, depuis son extrémité nord-est en Savoie jusqu'à son extrémité sud-est dans les Hautes-Alpes, est au moins de treize myriamètres sur une largeur moyenne de cinq à six kilomètres. Malgré son étendue considérable, elle ne renferme pas de mines d'anthracite ni aucun dépôt arénacé un peu considérable. Elle est coupée transversalement par plusieurs rivières dont les principales sont l'Arc, le torrent de Cervières près de Briançon et le Guil en Queyras. Nous allons indiquer succinctement la série des couches que l'on rencontre en suivant ces coupures.

De Termignon à Modane.

La partie de la vallée de l'Arc qui s'étend depuis Termignon jusque tout près de Modane, est entièrement formée, à droite et à gauche, de bancs calcaires et de schistes plus ou moins argileux. Les couches les

plus basses sont celles que l'on observe aux environs de Termignon. Elles sont formées de schiste argilo-calcaire micacé, souvent changé en gypse et alternant avec des marnes. Cette formation schisteuse, dont la puissance est très-considérable, s'appuie à l'est contre un rocher calcaire également gypseux, dont l'Arc baigne le pied et que nous avons dit être le prolongement du calcaire de *Désertes.* C'est dans le sein de ces schistes, vers le nord-est, qu'a été creusé le vallon d'Entre-deux-Eaux, que l'on suit en allant de Termignon au col de la Vannoise. Vers le sud-ouest, leur prolongement constitue un autre vallon qui conduit au col de la Pelouze. En suivant l'Arc, on marche constamment sur leurs tranches plus ou moins inclinées jusqu'à ce que l'on ait atteint le village de Bramans. Au delà, on rencontre une grande épaisseur de calcaires marneux micacés, le plus souvent gypseux, puis un énorme rocher de calcaire sur lequel est bâti le fort de Bramans et qui couronne toute la série des couches précédentes. Les bancs de ce rocher calcaire, d'abord peu inclinés, se relèvent peu à peu vers l'ouest, et l'on voit nettement que c'est leur prolongement nord qui forme les sommités les plus élevées de la montagne de la Vannoise.

En continuant à suivre la grande route, du fort de Bramans à Modane, on marche de nouveau sur des marnes supérieures au calcaire précédent. A ces marnes succède plus loin une seconde masse calcaire, en grande partie gypseuse, qui coupe la vallée de l'Arc à l'endroit où est situé le village du Bourget. Cette seconde assise calcaire dirigée comme toutes les couches précédentes, à peu près du nord au sud, passe un peu à l'est du col de Chavières et constitue le revers occidental de la chaîne de la Vannoise.

Le puissant système de couches dont nous venons d'indiquer la succession depuis Termignon jusqu'au village du Bourget, près de Modane, appartient, comme nous l'avons dit, au premier étage anthraxifère. Il se divise assez nettement en deux sous-étages dont les assises calcaires supérieures coupent la vallée de l'Arc, l'une au fort de Bramans, l'autre au village du Bourget.

Vallée de Cervières.

Le village de Cervières est situé au pied d'une assise calcaire extrêmement puissante, correspondant exactement au calcaire du col de *Désertes* et formant par conséquent la limite supérieure du terrain anthraxifère inférieur. Si à partir de ce point on se dirige vers Briançon en suivant le torrent de Cervières, on observe d'abord des schistes verdâtres serpentineux reposant immédiatement sur le calcaire précédent, puis une longue série de marnes, de schistes argileux, de calcaires grenus et compactes alternant ensemble et offrant des marques nombreuses d'altérations et de dislocations. Les couches d'abord relevées vers l'est, deviennent ensuite verticales et même prennent une inclinaison en sens contraire. On marche sur ces calcaires jusqu'à ce que l'on soit parvenu près d'un petit hameau appelé *Terre-Rouge* où on les voit plonger sous un système plus récent de marnes diversement colorées et de schistes argileux noirs avec bancs de grès subordonnés. Les derniers bancs calcaires de Terre-Rouge suivis dans leur prolongement vers le nord, peuvent être rattachés d'une manière continue à l'assise calcaire du col de l'*Échelle*; ils servent par conséquent de limite supérieure au premier étage anthraxifère.

Du Château-Queyras à la Chapelu.

La coupe de terrain que l'on observe entre le Chateau-Queyras et un groupe de maisons nommé la *Cha-*

pelu, sur les bord du Guil près de Veyer, ressemble beaucoup à celle que nous venons d'indiquer entre Cervières et Terre-Rouge. Le rocher calcaire qui est coupé par le Guil un peu à l'ouest de Château-Queyras, et qui n'offre en cet endroit qu'uné fente tellement étroite qu'elle est occupée en entier par le torrent, correspond exactement au calcaire de Cervières. Sur ce calcaire reposent des schistes argileux et des marnes friables dans le sein desquels s'ouvre le vallon d'Arvieux. A cette assise schisteuse, base du premier étage, succèdent des bancs de calcaire cristallin alternant avec des calcaires marneux et représentant les groupes supérieurs de la même formation. Ces bancs, en général très-solides, constituent les rochers appelés *Serre-des-Hugons*, et donnent lieu à un défilé long et extrêmement resserré où l'on a été obligé d'entailler le roc pour le passage de la route. Au delà, la vallée s'élargit un peu, et l'on entre dans le petit bassin de Veyer, où l'on trouve des couches de quartz et de marne schisteuse avec talc appartenant à la base du deuxième étage.

3° *Résumé des observations sur le premier étage.* — En résumé, le premier étage du terrain anthraxifère supérieur constitue deux zones de terrain distinctes, l'une occidentale, l'autre orientale, relativement à la montagne du Chardonnet. Ces zones affectent à peu près la forme d'arcs de cercle qui tournent leur convexité vers le nord-ouest, et qui, par conséquent, sont concentriques au contour de la chaîne talqueuse du mont Blanc au mont Pelvoux. La zone occidentale commence au col du Lautaret et de là se dirige vers le Piémont en traversant la Maurienne et la Tarentaise. La puissance de ses couches, d'abord peu considérable, s'accroît successivement et finit par devenir énorme entre le col du Bon-

homme et Saint-Maurice. La zone orientale présente, à partir des environs de Bardonèche, deux branches presque égales, qui atteignent les frontières du Piémont, l'une au nord-est du mont Iseran, l'autre aux environs du col de Mauren (Basses-Alpes).

Le premier étage, observé, soit à l'ouest, soit à l'est du col du Chardonnet, se divise naturellement en deux sous-étages composés chacun d'une assise supérieure de calcaire grenu renfermant quelquefois des brèches et des masses gypseuses, et d'une assise inférieure formée de marne, de schiste argileux, de schiste micacé et talqueux, et quelquefois de grès à anthracite.

Les grandes masses calcaires souvent repliées sur elles-mêmes, qui font partie de ce système de couches lui impriment un aspect caractéristique. Lorsqu'il est coupé transversalement par des torrents, il donne lieu à des passages longs et étroits, bordés sur toute leur longueur par des rochers coupés à pic.

Les coquilles fossiles y sont très-rares et n'ont pas encore été déterminées spécifiquement. Les couches, d'anthracite y sont également très-peu nombreuses; ce n'est qu'aux environs de Moutiers qu'on en exploite quelques-unes où l'on trouve des vestiges d'empreintes végétales.

§ 2. Deuxième étage.

Prolongement du calcaire du *Galibier*.

1° *Zone occidentale.* — Le second étage, tel que nous l'avons établi dans notre coupe générale, repose immédiatement, à l'ouest du Chardonnet, sur le calcaire dit de la *Mendette*, et s'étend jusqu'aux bancs les plus élevés de l'assise calcaire du col du *Galibier*. Ce dernier calcaire, en se prolongeant en Savoie, affecte d'abord la direction nord-ouest; puis il s'infléchit peu à peu et atteint bientôt la ligne nord-sud. En descendant du col

pour aller à Bonnenuit, on marche sur sa partie la plus élevée jusqu'à la Charmette, hameau situé près du confluent des torrents qui descendent des cols du Galibier et de Goléon. En cet endroit, on coupe très-obliquement les bancs calcaires suivis jusqu'alors. Après, on les voit s'enfoncer sous le village de Bonnenuit, puis se relever et former jusqu'à Valloire les premiers escapements qui dominent à droite le chemin. A Valloire ces mêmes bancs calcaires traversent de nouveau la vallée et ne présentent à l'extrémité méridionale du village qu'un passage très-étroit, à peine suffisant pour la route et le torrent. Au delà de Valloire, ils continuent à se diriger à peu près du sud au nord et constituent sur la gauche de la route, au-dessus de Saint-Martin d'Outre-Arc, un rocher sur lequel on a bâti une chapelle. De ce point, il est facile de suivre des yeux leur prolongement, et l'on reconnaît avec une grande évidence qu'ils vont couper l'Arc un peu au-dessous de Saint-Michel, en un endroit où la vallée éprouve un étranglement considérable remarqué par tous les voyageurs. Les couches calcaires du flanc droit de ce défilé plongent vers l'E.-N.-E. sous un angle de 40 à 50 degrés. Elles sont grises, bleuâtres, à texture un peu cristalline, et atteignent une puissance totale d'environ 150 mètres.

Après avoir traversé la vallée de l'Arc, le calcaire du *Galibier* forme une crête continue, très-élévée, que l'on a constamment à sa gauche en allant de Saint-Michel au col des Encombres. Lorsque après avoir atteint ce col on commence à descendre sur le versant opposé, on voit cette crête devenir très-gypseuse, diminuer considérablement de puissance et s'infléchir rapidement vers le nord-est. La route la traverse un peu au-dessous du col, en sorte que de la gauche elle passe à la droite de l'observateur, qui se retrouve dans la même position

géologique qu'en allant de Bonnenuit à Valloire. Les premiers chalets que l'on rencontre, nommés *Gitt-Melon*, sont situés au pied du revers occidental de cette assise. A partir de ce point, elle s'éloigne de plus en plus du chemin qui conduit à Saint-Martin-de-Belleville. En la suivant à travers les pâturages et en remontant aussi haut que possible les vallées de la Ramée et de Bozel pour aller à Pesey et à Tignes à travers les glaciers, nous nous sommes assuré qu'elle formait une suite continue d'escarpements souvent gypseux, au-dessus de Sey, de la Rosière, de Saint-Bon, de Villard-Goitreux et de Pesey; enfin qu'elle atteignait le village de Gurat, dans la haute vallée de l'Isère, à 7 kilomètres environ sud-sud-est de Sainte-Foy. Plus loin, cette même assise calcaire tourne vers le N.-N.-E. et franchit les frontières du Piémont tout près du mont Valésan. La longue ligne d'affleurement que nous venons d'indiquer n'offre pas une courbe régulièrement convexe vers le nord-ouest; elle est au contraire sinueuse et contournée en forme d'un S sur plusieurs points, notamment entre le Villard-Goitreux et Pesey, et plus loin, entre ce dernier village et celui de Gurat.

Revenons maintenant au col du Galibier, notre point de départ. Le calcaire de ce col, en se prolongeant vers le sud-est, dans le département des Hautes-Alpes, suit une direction à peu près rectiligne. Il passe un peu au-dessus du Lauzet et va couper la Guisanne tout près du Casset. Au delà de ce torrent, il forme un monticule en grande partie gypseux, situé à l'ouest du Monestier, à l'entrée du vallon par lequel on monte au col de l'Échauda. Au commencement de la montée, on marche d'abord sur les tranches de ce calcaire, mais bientôt on le laisse à droite, et en continuant à s'avancer, on reconnaît qu'il constitue une montagne schisteuse qui do-

mine au couchant le sommet du col de l'Échauda. En descendant sur le versant opposé, on perd bientôt sa trace, parce qu'il disparaît sous le terrain nummulitique. Ce dernier terrain, que nous rencontrons ici pour la première fois, commence à se montrer à l'ouest du chemin par lequel on monte du Monestier au col. Il ne forme là qu'une bande très-mince qui s'élargit ensuite dans le vallon par lequel on descend à Vallouise, et de là se prolonge jusque dans la vallée du Drac.

L'espace compris entre les lignes d'affleurement indiquées plus haut pour le calcaire du *Galibier* et pour celui de la *Mendette* présente la forme d'une bande étroite dans les Hautes-Alpes et s'élargissant beaucoup dans la Maurienne, et surtout dans la Tarentaise. Cet élargissement ne tient pas à une différence d'allure des couches, mais à une augmentation de puissance du deuxième étage dont l'assise inférieure principalement acquiert un développement très-considérable.

Nous allons décrire, comme appartenant à cet étage, les Aiguilles d'Arve, près de la Grave, la vallée de l'Arc, entre Saint-Jullien et Saint-Michel, et plusieurs localités intéressantes de la Tarentaise.

Les trois hautes pyramides nommés les *Aiguilles d'Arve* qui, au nord de la Grave, reposent sur le calcaire de la Mendette, forment en cet endroit la base du deuxième étage. Leur composition est très-remarquable. Elles consistent en un conglomérat grossier à fragments de calcaire, de protogine, de porphyre, de schiste et de quartz liés entre eux par un ciment sablonneux. Les fragments calcaires présentent des débris de corps marins, tels que bélemnites, entroques, pentagonales et circulaires. Ainsi que l'a observé M. Élie de Beaumont, ce conglomérat ne se prolonge pas très-loin dans le sens de la direction des couches, **Aiguilles d'Arve.**

il constitue un amas elliptique qui s'amincit à ses extrémités et finit par disparaître. Sur la masse fragmentaire précédente s'appuient immédiatement des grès fins schisteux, qui d'abord alternent un grand nombre de fois avec des schistes argilo-calcaires, et puis finissent par dominer exclusivement. Ce système arénacé constitue entièrement le sommet du col des pics à l'extrémité nord des Aiguilles d'Arve, ainsi que la plus grande partie du vallon par lequel on descend de là à Bonnenuit. Sa puissance est par conséquent très-considérable.

De Saint-Jullien à Saint-Michel en Maurienne.

Le village de Saint-Jullien, dans la vallée de l'Arc, est situé sur le bord d'un torrent qui coule à la jonction d'une assise de calcaire schisteux correspondant à celle de la *Mendette* et d'un groupe de roches arénacées situées immédiatement au-dessus. Ces dernières couches et toutes celles qui leur succèdent jusqu'au défilé qui précède le village de Saint-Michel, appartiennent au deuxième étage. Elles sont dirigées moyennement du sud au nord avec une forte inclinaison vers l'est. Observées sur la rive droite de l'Arc, elles offrent la succession suivante, en remontant la vallée. Les roches les plus basses, au pied desquelles le village de Saint-Jullien est bâti, consistent en grès fins schisteux, semblables à ceux du col des pics et alternant comme eux avec des schistes argilo-calcaires passant au schiste argileux. Ce système de grès et de schiste paraît avoir une puissance de 400 à 500 mètres; il forme une suite de sommités à contours arrondis dont la ligne de faîte s'élève successivement vers l'est. A 3 kilomètres environ en amont de Saint-Jullien, on voit ces grès s'enfoncer sous une longue série de marnes et de calcaires schisteux se divisant en plusieurs groupes assez distincts. Les marnes immédiatement supérieures aux grès sont

nuancées de taches rouges et jaunes, et paraissent avoir éprouvé des altérations métamorphiques. Elles passent peu à peu à des calcaires schisteux un peu sablonneux, de couleur brune, dont l'épaisseur est de 200 à 300 mètres. Ces calcaires s'enfoncent à leur tour sous des marnes grises bleuâtres très-schisteuses; enfin ces dernières sont couronnées par une puissante assise calcaire qui s'élève au col des Encombres à une hauteur de près de 2,000 mètres au-dessus du niveau de la mer, et dont le prolongement sud constitue un peu au-dessous de Saint-Michel le défilé dont il a déjà été question.

Fossiles du col des Encombres.

Depuis mes observations au col des Encombres, M. Sismonda a trouvé sur le versant de ce col qui regarde la Tarentaise, dans des couches de calcaire noir qui ne peuvent appartenir qu'au deuxième étage, un grand nombre de fossiles figurés en partie par M. Bayle dans le *Bulletin de la société géologique de France* (tome 5, 2e série, page 411). Voici la liste de ces fossiles, qui offrent un grand intérêt : *Ammonites fimbriatus* (Sow.), *Ammonites amaltheus* (Schl.), *Ammonites planicostatus* (Sow.), *Ammonites radians* (Schl.), *Pholadomia liasina* (Sow.), *Avicula inæquivalvis* (Sow.), *Avicula costata* (Sow.), *Lima decorata* (Munster), *Cardina concinna* (Agassiz), *Terebratula inæquivalvis* (Sow.), *Terebratula variabilis* (Sow.), *Arca*, *Pecten* et *Bélemnites* en très-grande quantité.

Il est à remarquer que ces divers fossiles se rencontrent habituellement dans le lias. Cependant il est certain que les couches sur lesquelles on marche en descendant du col des Encombres vers la Tarentaise, sont à un niveau géologique bien plus élevé que celles de Petit-Cœur, du col de la Madeleine, du Mont-de-Lans et d'autres localités du terrain anthraxifère inférieur,

où l'on trouve également des coquilles liasiques; en sorte que, malgré son immense épaisseur et sa division en plusieurs étages bien distincts, la série des couches anthraxifères des Alpes ne renferme, en fait de coquilles, que des fossiles de la même époque. C'est une différence de plus avec le terrain jurassique dont les divers étages sont, comme on le sait, caractérisés par des faunes différentes.

Vallée du Doron.

Le puissant système de couches dont nous avons indiqué la succession depuis le village de Saint-Jullien jusqu'au défilé de Saint-Michel se prolonge du sud au nord, puis s'infléchit un peu vers le nord-est. En le suivant d'une manière continue, on voit qu'il traverse obliquement la vallée de Saint-Martin-de-Belleville, entre ce village et le col des Encombres; puis celle du Doron, entre l'établissement thermal de Brides et le village de Villard-Goitreux, au-dessus de Bozel. Dans cette dernière vallée, les schistes argilo-calcaires qui auparavant alternaient avec les grès, disparaissent à peu près complétement. On ne rencontre plus que des grès quartzeux et micacés, des quartz compactes, des schistes argileux et des poudingues à fragments de schiste micacé et de quartz, renfermant sur quelques points des couches d'anthracite exploitées par les habitants du pays, principalement à Montagny, au village des Allues et près de Villard-Goitreux. Il existe aussi des indices de plomb sulfuré aux Allues. Au-dessus de Villard-Goitreux, les grès s'enfoncent sous des roches cristallines micacées et talqueuses avec lesquelles ils sont intimement liés, et ces dernières roches sont elles-mêmes immédiatement recouvertes par une assise de calcaire altéré qui n'a pas plus de 30 à 40 mètres de puissance, et que l'on doit considérer comme correspondant rigoureusement au calcaire du col des Encom-

bres. Cette assise, qui présente au-dessus de Saint-Bon une masse énorme de gypse, se prolonge entre le Villard-Goitreux et le Planey, où elle coupe la route qui conduit à Pralognan. En cet endroit, on reconnaît avec évidence qu'elle est intercalée entre des couches cristallines à base de quartz, de talc et de mica dont les plus élevées appartiennent, comme nous le verrons bientôt, au troisième étage.

De Villette à Landry et à Pesey.

Les grès anthraxifères de la vallée du Doron, que nous avons dit s'étendre depuis les bains de Brides jusqu'au-dessus de Villard-Goitreux, se prolongent vers le nord-nord-est dans la vallée de l'Isère, où ils augmentent encore de développement. Ils présentent dans cette vallée une puissance de plus de 1.500 mètres et occupent tout l'espace compris entre le village de Villette et le passage du Petit-Saint-Bernard. On les coupe d'une manière complète en allant de Villette à Landry, sur la rive gauche de l'Isère, et en remontant de là le petit vallon de Pesey jusqu'à ce que l'on ait atteint la mine de plomb sulfuré située au-dessus de ce dernier village. Les couches les plus basses de cette immense formation s'observent entre Aime et Villette, où on les voit reposer sur les derniers bancs calcaires du premier étage. Elles consistent principalement en grès fins schisteux avec anthracite. Ces roches étant beaucoup plus tendres que le calcaire qui les précède, donnent lieu à un élargissement considérable de la vallée. Elles forment à droite et à gauche des collines arrondies couvertes de pâturages et de champs cultivés. Depuis le bourg d'Aime, bâti au pied de l'une de ces collines, jusqu'au village de Landry, on traverse un peu obliquement une longue série de ces grès anthraciteux, alternant avec des schistes argileux plus ou moins chargés de mica, de talc et de quartz. Ces couches paraissent très-dislo-

quées et sont en général dirigées vers le N.-N.-E. avec une inclinaison variable vers l'E.-S.-E. Elles renferment un grand nombre de gîtes de combustible. On en cite à Aime, quartier des Betasses ; à Macot; à Longefoy, dans le ravin du Gerel; au Mont-Valésan sur Bélentre; à Planafran, commune de la Chapelle; à Landry et dans d'autres lieux.

Si de Landry on tourne vers le sud-est pour monter directement à Pesey, on coupe à peu près perpendiculairement à leur direction une nouvelle série de couches évidemment supérieures à celles dont on vient de parler. Elles sont d'abord à peu près de même nature et composées en grande partie de schiste argileux tendre et de psammite à grains plus ou moins fins. Quand on approche de Pesey, le terrain devient plus solide et plus cristallin. Il renferme des bancs de quartz micacé, des talcschistes, des poudingues quartzeux à base de schiste micacé. On y trouve aussi des mines d'anthracite dont quelques-unes sont exploitées. Du village principal de Pesey, on voit très-bien que la série des couches sur lesquelles on a marché depuis Landry est couronnée par une puissante assise calcaire, qui forme au sud et au sud-est des escarpements de couleur jaunâtre, interrompus par le vallon à l'endroit même où est situé la mine de plomb. En remontant jusque-là, on observe sur la droite du torrent une masse assez considérable d'une roche feldspathique verdâtre passant au gneiss. Quoique les bancs de cette roche soient disloqués et contournés de diverses manières, on peut s'assurer qu'ils sont à peu près dirigés de l'est à l'ouest, et qu'ils plongent vers le sud comme les grès situés au-dessous. En se prolongeant de l'autre côté du torrent, ils changent de caractère et passent à un schiste vert stéatiteux, très-onctueux, dans lequel se trouve disséminé le

plomb sulfuré, objet de l'exploitation. Ce minerai mêlé intimement de chaux carbonatée manganésifère, de quartz et de stéatite, constitue une espèce d'amas aplati très-allongé, qui paraît subordonné aux couches schisteuses encaissantes. L'assise calcaire recouvre immédiatement les bancs de gneiss et de schiste stéatiteux avec galène dont nous venons de parler. Elle paraît profondément altérée. Du côté de la mine de plomb, elle est jaunâtre, en partie changée en tuf et en gypse avec soufre natif. De l'autre côté du torrent, elle forme au-dessus du gneiss une masse compacte de couleur blanche ou blonde, sans stratification distincte. Un peu plus loin, près des chalets de Beaupra, elle devient tufacée, en partie gypseuse, et recouvre des schistes stéatiteux dans lesquels on remarque des indices de plomb sulfuré comme sur la rive gauche du torrent. Cette assise calcaire ne peut pas se suivre bien loin vers le sud, en continuant à remonter le vallon au-dessus de Pesey; elle disparaît bientôt sous une grande épaisseur de quartz, de schistes talqueux et micacés et même de roches gneissiques qui doivent être rapportées au troisième étage. On voit par ces détails qu'à Pesey comme à Villard-Goitreux, dans la vallée de Bozel, le calcaire qui termine le deuxième étage est intercalé dans le sein de roches cristallines, d'apparence primitive.

Empreintes végétales.

Les gîtes de combustible que nous avons dit être abondants dans la puissante formation anthraxifère de la vallée de l'Isère, sont souvent accompagnés d'empreintes végétales dont plusieurs ont été déterminées spécifiquement. M. Adolphe Brongniart a cité les espèces suivantes comme venant de Macot : *Neuropteris flexuosa*, *Neuropteris Soretii*, *Neuropteris rotondifolia*. Il est très-probable que le *Pecopteris polymorpha* et l'*Asterophyllites equisetiformis* que M. Brongniart cite

également comme venant de la Tarentaise, appartiennent aux grès de la même assise.

Ces restes de végétaux font tous partie de la flore carbonifère. Le *Pecopteris polymorpha* est une des espèces les plus communes dans les terrains houillers de France.

Col du Petit-Saint-Bernard. Les couches dont nous avons indiqué la succession de Villette à Pesey se prolongent vers le nord-est en conservant à peu près les mêmes caractères minéralogiques et franchissent les frontières du Piémont au col du Petit-Saint-Bernard. Leur partie inférieure, composée essentiellement de grès fins et de schiste argileux forme le sol gazonné et à contours arrondis du vallon qui conduit au col. On y a trouvé quelques couches d'anthracite et des empreintes végétales. Ces couches schisteuses, en général friables, plongent vers le sud-est et s'enfoncent sous des grès quartzeux, des quartz micacés et des talcschistes correspondant aux roches de même nature que l'on observe aux environs de Pesey. Ces roches paraissent former une bande continue qui, coupant la vallée de l'Isère au-dessus de Seez, constitue au sud du Petit-Saint-Bernard, de hautes sommités entourées de glaciers dont fait partie le mont Valésan.

Hautes-Alpes. Les couches du deuxième étage anthraxifère que nous venons d'étudier en Savoie, sont beaucoup moins développées dans le département des Hautes-Alpes. A partir du col du Galibier, elles forment dans ce département une bande d'une largeur moyenne d'environ un kilomètre, qui traverse obliquement la vallée de la Guisanne et se dirige vers le col de l'Échauda pour disparaître bientôt sous le terrain nummulitique. Entre la Madeleine et le Casset, elles sont composées principalement de psammites à grains fins et de schistes

argilo-calcaires qui, sur quelques points, sont exploités comme ardoises. Leur direction est de l'O.-N.-O. à l'E.-S.-E., avec une forte inclinaison tantôt du côté du nord, tantôt vers la région sud.

2° *Zone orientale.* — La zone orientale du second étage anthraxifère est comprise entre le calcaire de l'*Échelle*, dont on a fait connaître plus haut le prolongement, et la partie la plus élevée de l'assise calcaire du *Névache*, dont nous allons maintenant suivre la trace.

Prolongement du calcaire de *Névache*.

Du côté du nord, c'est-à-dire vers la Savoie, le calcaire de *Névache* suit d'abord exactement la direction nord-15°-ouest jusqu'à un passage appelé le *col du Vallon*, par lequel on va presque en ligne droite de Névache à Val-Étroite. Au delà de ce passage, il s'infléchit rapidement pour prendre la direction nord-nord-est. Il passe entre le mont Thabor et Val-Étroite, un peu à l'est du col de la Somme, et traversant le chemin qui mène à Modane, il présente sur la gauche sa tranche coupée à pic et extrêmement tourmentée, au-dessus de laquelle s'élèvent les grès du mont Thabor. En continuant vers le nord-nord-est, il rencontre l'Arc entre le village des Fourneaux et Modane, et constitue au nord de ce dernier bourg, au delà de l'Arc, un rocher jaunâtre fortement altéré, que les dislocations du sol et l'action du temps ont découpé en pyramides irrégulières ayant l'aspect de ruines. De Modane, on voit ce calcaire jaunâtre s'élever presque verticalement du fond de la vallée jusqu'au sommet de la montagne ; de là il continue toujours dans la même direction et va couper le vallon de Pralognan à son extrémité nord, à l'endroit même où le village est bâti. Ici il y a un point d'inflexion qui le fait tourner assez brusquement vers le nord-est, en sorte qu'on l'a constamment à sa gauche

en allant de Pralognan au col de la Vannoise, jusqu'à ce que l'on ait atteint le premier lac situé au sommet de la montée. Plus loin, vers le nord-est, ce calcaire disparaît pendant quelque temps sous les glaciers, mais on l'observe bientôt de nouveau au-dessus des chalets les plus élevés de la combe de Champagny. En le suivant de ce côté, on reconnaît qu'il traverse la vallée de la haute Isère au village du Val de Brennières, à 3 kilomètres nord de Tignes. Au delà du Val de Brennières, il constitue sur une certaine longueur les frontières de la France et du Piémont, qu'il franchit enfin entre le mont Riotor et le val Grisanches.

Le calcaire de *Névache* que nous venons de suivre vers le nord jusqu'en Piémont, y pénètre également vers le sud à travers le département des Hautes-Alpes. Après avoir coupé la vallée de la Clarée à l'endroit même où est situé le principal village de Névache, il passe entre les vallons du Crouzet et du Longet, un peu au-dessus du village de Grenou, et va constituer les rochers sur lesquels on a bâti Briançon et les forts environnants. A partir de là, il continue à se diriger vers le sud-20°-est avec une régularité remarquable et forme les sommités qui séparent le col des Hayes de celui d'Hysoire, ainsi que les escarpements les plus élevés qui dominent à droite le vallon d'Arvieux. Puis il traverse le Guil entre Veyer et le hameau dit la Maison du Roi et atteint la limite du département des Basses-Alpes aux environs du col des Orches, d'où il se prolonge dans le Piémont en passant un peu à l'est de Fouillouse.

La longue ligne d'affleurement que nous venons d'indiquer a la forme d'un arc de cercle tournant sa convexité vers l'ouest et présente un développement de plus de 15 myriamètres. Sur toute cette longueur, la

puissance de la zone orientale du deuxième étage, considérée dans son ensemble, est beaucoup moins considérable que celle de la zone occidentale. La partie inférieure de la formation est dépourvue de mines de combustible et offre, suivant les lieux, une grande diversité de caractères minéralogiques, ainsi qu'on le remarque à Briançon, à Val-Étroite, aux environs de Modane, à Pralognan et au val de Brennières dans la haute vallée de l'Isère. Nous allons donner quelques détails sur chacune de ces localités.

Lorsqu'en partant du Château-Queyras on suit la vallée du Guil pour aller à Guillestre, on rencontre, après avoir traversé le torrent qui descend d'Arvieux, un défilé étroit creusé dans le sein de puissantes masses calcaires appartenant au premier étage anthraxifère. A l'extrémité sud de ce défilé, il y a un hameau nommé la Chapelu, au delà duquel la vallée s'élargit tout à coup et forme un petit bassin elliptique où se trouve le village de Veyer. Depuis la Chapelu jusqu'à Veyer, sur une longueur d'environ 1.200 mètres, on observe sur la rive droite du Guil une série de couches quartzeuses plongeant fortement vers l'ouest-sud-ouest. Elles sont composées de bancs de quartz compacte alternant avec des poudingues et des grès à gros grains entièrement quartzeux. Ces couches, qui ont de la tendance à devenir schisteuses par l'interposition de lits minces de talc, reposent d'un côté sur la masse calcaire du défilé et de l'autre s'enfoncent sous une autre assise calcaire que l'on peut rattacher d'une manière continue à celle de *Névache*. On doit conclure de leur position géologique qu'elles représentent ici la partie inférieure du deuxième étage. Veyer.

Briançon est un point commode pour faire des observations sur le deuxième étage anthraxifère, à cause des Briançon.

dislocations naturelles du sol et des entailles profondes qui ont été pratiquées dans le sein des rochers pour les travaux de fortification. Le calcaire sur lequel on a bâti la ville et les forts les plus voisins est, comme nous l'avons dit, le prolongement direct de celui de *Névache*. Il est gris clair, à texture grenue. Ses bancs, extrêmement tourmentés, plongent en général vers le sud-ouest. Cette inclinaison est manifeste à l'entrée du vallon des Hayes, au lieu dit *Pied-Sec*, où il s'enfonce sous des grès quartzeux du troisième étage. Sur la droite du torrent de Cervières, il renferme dans son sein une masse considérable de gypse blanc épigénique, exploité quelquefois par les habitants. On n'observe, au-dessous de ce calcaire que des marnes plus ou moins tendres, sans mélange de roches arénacées. Elles sont sur quelques points schisteuses et colorées en rouge. On les rencontre telles sur la route de Briançon à la Vachette, à une petite distance de la ville. On les voit aussi à découvert dans la fente de rocher qui sépare Briançon du fort des Trois-Têtes.

De Val-Étroite à Modane.

Au sud-ouest de Val-Étroite, les couches immédiatement inférieures au calcaire de Névache sont composées de marnes calcaires, en partie gypseuses, auxquelles sont associés des grès quartzeux. On rencontre ces mêmes grès sur la route de Val-Étroite au col de Valmeinier, au-dessus des bois que cette route traverse. Ici, ils alternent avec des quartz compactes et des schistes talqueux n'offrant aucune trace de structure arénacée. Ils renferment une couche de fer oxydé rouge compacte, d'un mètre environ de puissance, que l'on exploite pendant l'été pour le haut-fourneau d'Exilles. En suivant vers le nord ce système en partie arénacé et en partie cristallin, on reconnaît qu'il constitue dans toute son étendue le vallon par lequel on descend du col

de la Somme à Modane. Sa puissance devient alors considérable. On y observe : 1° des quartz compactes associés à des grès quartzeux passant quelquefois au poudingue; 2° des psammites à grains fins à texture schisteuse et des quartz micacés et talqueux exploités comme lauzes; 3° enfin des schistes talqueux et micacés plus ou moins fissiles où le quartz est ordinairement très-abondant. Ces dernières roches constituent à peu près exclusivement la gorge pittoresque et bien boisée que l'on rencontre entre N.-D. du Charmet et Modane. Le terrain de cette gorge présente beaucoup d'analogie avec celui d'Allevard (Isère), quoiqu'il soit d'un âge très-différent; il renferme comme lui des filons de fer spathique qui sont exploités un peu en amont du village des Fourneaux.

Les roches talqueuses dont nous venons de parler traversent la vallée de l'Arc et s'élèvent jusqu'au sommet de la montagne qui domine au nord Modane. On y remarque un banc énorme de quartz blanc compacte auquel succède l'assise de calcaire jaunâtre ayant l'aspect de ruines, que nous avons signalée plus haut comme étant le prolongement de celle de *Névache*. Cette assise, intercalée dans le sein de roches cristallines appartenant les unes au deuxième étage et les autres au troisième, offre les mêmes circonstances de gisement que le calcaire de Pesey, dont il est d'ailleurs l'équivalent géologique.

Les couches du deuxième étage anthraxifère offrent à Pralognan à peu près la même composition qu'aux environs de Modane; elles sont formées, en allant de bas en haut : 1° de schiste argileux présentant parfois une structure arénacée et alternant avec des schistes micacés et talqueux; 2° de bancs de quartz compacte d'une épaisseur de plus de 100 mètres; 3° d'une puis- Pralognan.

sante assise de calcaire gris compacte au pied de laquelle est bâti le village. Ce calcaire, prolongement de celui de Modane, termine l'étage.

Val de Brennières. Entre le val de Brennières et Tignes, on observe une succession de couches qui rappellent complétement celles que nous avons signalées entre la Chapelu et Veyer. Elles consistent exclusivement en roches de quartz blanc, à cassure compacte ou sublamellaire, en strates distincts, peu épais, alternant un grand nombre de fois avec des quartz micacés, à texture schisteuse. Vers le nord, ce système de couches sert de support à une assise de calcaire altéré, jaunâtre, qui coupe la vallée de l'Isère à l'endroit même où se trouve le village du Val de Brennières. C'est le prolongement du calcaire de Pralognan et de Modane. Vers le sud, au delà de Tignes, le même système quartzeux repose évidemment sur un énorme rocher calcaire dans le sein duquel l'Isère s'est frayé un passage étroit et que nous avons dit appartenir au premier étage.

3° *Résumé des observations sur le deuxième étage.* — Nos observations sur le deuxième étage peuvent être résumées de la manière suivante. Cet étage se divise en deux bandes distinctes, situées l'une à l'est, et l'autre à l'ouest des étages anthraxifères plus récents qui occupent le centre de la Tarentaise et de la Maurienne. La bande occidentale est composée d'une assise supérieure calcaire, souvent gypseuse et altérée, et d'une assise inférieure renfermant principalement des roches arénacées. Celles-ci, d'abord peu développées au col du Galibier, augmentent rapidement d'épaisseur en se prolongeant en Savoie, où bientôt elles acquièrent une puissance de 1,500 à 2,000 mètres. On observe cet immense développement de couches dans la vallée de l'Arc, entre Saint-Jullien et Saint-Michel; dans celle

du Doron, entre Brides et Villard-Goitreux ; et surtout dans la Tarentaise, entre Villette et Pesey. Ce système arénacé renferme dans la vallée de l'Isère de nombreuses mines d'anthracite et des empreintes de végétaux appartenant tous au terrain houiller. Aux environs de Villard-Goitreux, de Pesey et de Sainte-Foy, l'assise calcaire supérieure est comprise entre des roches cristallines d'apparence primitive. Au col des Encombres, cette même assise renferme des coquilles fossiles qui ont été reconnues d'espèces propres au lias.

La bande orientale diffère de la précédente par une puissance beaucoup moindre, par le peu de développement des roches arénacées et par l'absence des mines de combustible. Son assise inférieure est composée, suivant les localités, de marne et de schiste calcaire, de roches quartzeuses quelquefois arénacées, ou bien de roches exclusivement cristallines. Cette variation remarquable dans la nature minéralogique de couches qui cependant sont exactement au même niveau géologique, est un fait sur lequel nous avons déjà insisté et qui paraît spécial à la partie inférieure des formations anthraxifères. Les assises calcaires supérieures subissent bien des modifications notables dans leur texture, leur couleur et leur aspect général, mais leur composition chimique n'est pas entièrement transformée, ainsi que cela arrive souvent pour les autres groupes de couches.

§ 3. Troisième étage.

Le troisième étage anthraxifère ne se divise en zone occidentale et zone orientale que sur une petite partie de son étendue. En Savoie, les deux zones se réunissent en une seule bande, qui est centrale par rapport aux étages précédents.

On a vu par les détails dans lesquels nous sommes

entré en faisant la coupe générale du système anthraxifère, que le troisième étage était couronné à l'ouest du Chardonnet par le calcaire de *Terre-Noire*, et à l'est par celui de *Querellin;* que ces deux calcaires, prolongement rigoureux l'un de l'autre, ne constituaient qu'une seule assise ayant la forme d'un fer à cheval, dont l'une des branches passait à Terre-Noire et l'autre à Querellin. Nous allons suivre les traces de ces deux branches dans les Hautes-Alpes.

Prolongement sud du calcaire de *Terre-Noire*.

Depuis l'entrée du vallon du Galibier jusqu'au Casset, le calcaire de *Terre Noire* forme sur la gauche de la grande route une ligne de rochers dentelés que l'on voit s'abaisser successivement vers la Guisanne. Entre le Casset et le Monestier, il diminue peu à peu de puissance et finit par disparaître complétement au fond de la vallée qui éprouve en cet endroit une dérivation de plusieurs degrés en passant de la direction S.-S.-E. à celle du S.-E. Cette solution de continuité, n'est pas de longue durée, car on voit le même calcaire reparaître de l'autre côté de la Guisanne, au sud-est du Monestier, associé comme précédemment à de grandes masses de quartz compacte, et s'enfonçant sous des grès dont la liaison avec ceux du col du Chardonnet est évidente. A partir de là, il donne lieu à une crête très-élevée et continue qui passe au-dessus du village du Bès et à l'ouest du col de Fréjus, et qui après avoir séparé le vallon de l'Échauda de celui de Paquet, va se rattacher à la montagne des Tenailles au-dessus des villages de Prelles et du Bouchier. Au sud de ce dernier hameau, il est interrompu par le vallon de la Gironde, mais il est évident qu'il se prolonge au delà. On le voit au sud des Vigneaux former une ligne d'escarpements très-apparente qui borde la rive droite de la Durance jusqu'aux environs de Saint-Crépin. La masse calcaire

qui sert de support à la formation quartzeuse renfermant les filons de plomb sulfuré de l'Argentière et celle qui domine l'entrée du vallon de Freissinière et le village de Champcella, appartiennent à cette assise. En la suivant plus loin au delà de Saint-Crépin, on la voit disparaître complétement sous le terrain nummulitique.

Le calcaire de *Querellin* se prolonge vers le sud-est en présentant d'abord l'aspect d'une haute muraille dentelée, que l'on peut suivre d'une manière continue depuis Querellin jusqu'au col de Cristovoul, au-dessus de la Salle. Sur toute cette étendue, qui est de 8 kilomètres, il n'offre qu'une seule brèche étroite appelée le col de Buffer, par lequel on va directement du Monestier à Névache. A partir du col de Cristovoul, ouvert dans le groupe arénacé immédiatement inférieur à l'assise calcaire, celle-ci, tournant vers le sud-sud-est, devient marneuse et s'abaisse vers la Guisanne. Les révolutions du sol ont fait disparaître complétement sa trace au fond de la vallée, mais elle ne tarde pas à reparaître du côté opposé, où elle forme une arête de rocher très-visible qui, au sud-ouest de Chantemerle, s'élève jusqu'au sommet de la montagne du Prouest, à l'est du col de Fréjus. La partie la plus élevée de cette sommité est entièrement formée d'une masse calcaire dont les bancs, extrêmement tourmentés, reposent évidemment sur les grès anthraxifères du Puy-Saint-Pierre. Après s'être replié en forme d'un S et avoir servi de support à la chapelle de Notre-Dame des Neiges, ce calcaire continue vers le sud-sud-est et descend dans la vallée de la Durance, au fond de laquelle il a été détruit, comme dans celle de la Guisanne. Pour retrouver son prolongement, il faut gravir la montagne de Roche-Moute, au pied de laquelle est bâti le village du Villaret.

Prolongement sud du calcaire de *Querellin*.

à Champcella et à Chantelouve près de Saint-Crépin, quelques gîtes de ce combustible qui sont inférieurs à la grande assise calcaire, prolongement de celle de *Terre-Noire*. Ce gisement doit les faire distinguer d'autres couches anthraxifères voisines, qui sont au contraire supérieures à ce même calcaire et appartiennent au quatrième étage, ainsi que nous le verrons plus tard.

Prolongement sud des grès de Querellin.

Le système arénacé inférieur au calcaire de *Querellin*, que nous avons dit être bien plus puissant que le groupe correspondant de *Terre-Noire*, se prolonge de la vallée de Névache dans celle de la Durance en passant entre le col de Cristovoul et celui du Longet. Aux environs de Briançon il occupe tout l'espace qui s'étend depuis cette ville jusqu'à la chapelle de Notre-Dame des Neiges, au-dessus du Puy-Saint-Pierre. On y trouve toutes les espèces et variétés de roches que l'on rencontre habituellement dans les terrains houillers, depuis le schiste argileux et le psammite jusqu'au poudingue anagénite et au quartz compacte. Ces diverses roches alternent plusieurs fois ensemble et renferment de nombreuses couches d'anthracite que les habitants du pays exploitent avec activité. Les gîtes de ce combustible sont répartis sur les communes de Saint-Chaffrey, de Briançon, du Puy-Saint-Pierre et du Villard-Saint Pancrace. Les restes de végétaux houillers y sont abondants. Nous citerons les suivants, qui proviennent soit des mines de Combarine, commune du Puy-Saint-Pierre, soit d'un groupe de grès schisteux voisin de Notre-Dame des Neiges : *Calamites Suckowii*, *C. Cistii*, *Sigillaria tessellata*, *S. notata*, *S. Brardii*, *S. elongata*, *S. striata*, *S. Schlotheimii*, *Lepidodendron ornatissimum*, *L. crenatum*, *L. turbinatum*, *Stigmaria ficoides*, *Sphenopteris latifolia*, *Lepidofloios Sternbergii*, *Lepidophyllum lineare*.

Les couches ont des inclinaisons assez variées; leur direction la plus constante est vers le nord-nord-ouest.

Le système anthraxifère des environs de Briançon continue vers le sud-sud-est sans diminuer beaucoup de puissance. Il passe entre le col des Hayes et celui de Malfousse et va couper le vallon du Guil à l'endroit appelé la *Maison du Roi*. Mais à partir du col des Hayes, sa composition n'est plus exclusivement arénacée comme aux environs de Querellin et de Briançon. Les roches dominantes sont le schiste argilo-calcaire, le calcaire grenu et le quartz. L'anthracite y devient rare et ne se présente en couches exploitables qu'à Fouillouse (Basses-Alpes).

Prolongement nord des grès du 3ᵉ étage.

Les calcaires de *Terre-Noire* et de *Querellin* ne dépassent pas vers le nord la courbe fermée suivant laquelle ils se joignent, sauf qu'il peut en exister aux environs quelques lambeaux détachés peu étendus (1); mais les groupes arénacés immédiatement inférieurs se prolongent bien au delà de ce point de jonction. Sans rien perdre de leur énorme puissance, ils ne forment plus qu'une seule bande, continue, convexe vers le nord-ouest, qui traverse la vallée de l'Arc entre Saint-Michel et Modane, la vallée du haut Doron entre Villard-Goitreux et Pralognan, celle de la haute Isère entre les villages de Gurat et du Val de Brennières, et qui enfin atteint les frontières de Piémont entre le mont Valésan et le mont Riotor. Cette zone de terrain, de largeur irrégulière, occupe le centre de la Maurienne et de la Tarentaise. Sa surface est hérissée des plus hautes montagnes de la contrée, en sorte que sur presque

(1) D'après une communication qui nous a été faite par MM. Élie de Beaumont et Sismonda, un de ces lambeaux calcaires constitue le sommet du mont Thabor.

toute son étendue elle est couverte de glaciers et de neiges perpétuelles. Parmi les hautes pointes de rocher qui en font partie, nous citerons particulièrement le mont Thabor, au sud de Modane; la roche Noire, à l'est du col des Encombres; les aiguilles de Rochenne, au-dessus des pâturages de la Ramée, et l'aiguille du Quarre, au sud de Pesey. Ces sommités et les points intermédiaires sont formés tantôt de grès quartzeux, de poudingues et de schistes argileux, tantôt de talcschiste, de quartz micacé et de gneiss plus ou moins bien caractérisés. Il est à remarquer que ces roches, les unes cristallines, les autres arénacées, sont liées entre elles par des transitions ménagées. Elles se trouvent au même niveau géologique, et doivent par conséquent être considérées comme déposées à la même époque, sauf à expliquer leurs différences minéralogiques par des modifications subies sur place postérieurement à leur dépôt.

Nous allons compléter ces généralités par une description plus détaillée de quelques localités intéressantes.

De Saint-Michel à Modane.

Si, à partir du défilé calcaire situé au-dessous de Saint-Michel dans la vallée de l'Arc, on se rend au village des Fourneaux, près de Modane, on coupe à très-peu près perpendiculairement à leur direction une immense série de couches, les unes arénacées, les autres cristallines, qui toutes appartiennent au troisième étage. On peut, sans s'écarter de la grande route, étudier commodément leurs caractères minéralogiques, leur liaison et leur allure. Aux environs de Saint-Michel, on observe principalement des grès fins, micacés, plus ou moins chargés de quartz, et des schistes argileux dans le sein desquels on a ouvert quelques exploitations d'anthracite. Ces grès se succè-

dent sans interruption jusqu'au pont sur l'Arc dit de la Denyse, à l'est de Saint-Michel. Les couches sont dirigées vers le nord magnétique et plongent fortement vers l'est. Mais plus loin cette allure change; avant qu'on ne soit arrivé en face du village d'Orelle, le sens de l'inclinaison passe de l'est à l'ouest et reste tel jusqu'à Modane. Près du pont de la Denyse, les roches qui bordent à droite et à gauche la vallée sont des grès quartzeux, des quartz micacés et talqueux passant au talcschiste, des schistes argileux ou argilo-talqueux. Ces diverses roches alternent ensemble et continuent jusqu'au delà du pont dit des Chèvres. En cet endroit la direction des couches est à très-peu près du nord au sud. Plus loin, un peu au delà du village de la Pra, on exploite sur le bord de la grande route une pierre grise, schisteuse, que l'on doit considérer comme un quartz micacé et talqueux. En l'examinant de près, on voit que les grains de quartz ont la forme de petits cristaux et que la roche n'offre pas de traces d'une structure arénacée. Vis-à-vis Saint-André il existe une autre carrière dont la pierre est de nature à peu près semblable C'est un schiste quartzeux, micacé, à grains très-fins, exploité pour dalles. En s'approchant du village des Fourneaux, on ne rencontre plus que des couches entièrement cristallines, consistant surtout en schistes micacés et talqueux passant au gneiss. Ces roches d'apparence primitive sont dirigées vers le N.-6°-O., avec une forte inclinaison à l'ouest. Elles s'appuient immédiatement contre le calcaire jaunâtre altéré dont nous avons signalé l'existence en face de Modane, et qui sépare de ce côté le troisième étage anthraxifère du second.

En allant de Pralognan à Villard-Goitreux, on traverse encore toute la série des couches qui constituent De Pralognan à Villard-Goitreux

le troisième étage ; mais ici elles ont moins de puissance qu'entre Saint-Michel et Modane, et elles paraissent plus exclusivement cristallines. Immédiatement au-dessus de l'assise calcaire au pied de laquelle est bâti Pralognan et qui termine le deuxième étage, on observe des masses considérables de quartz compacte, jaunâtre, dont les strates bizarrement repliés, inclinés, tantôt dans un sens et tantôt dans un autre, paraissent être en stratification complétement discordante avec le calcaire contre lequel elles s'appuient. Ces roches de quartz accompagnent le voyageur jusqu'au village de Villeneuve. A partir de là jusqu'au Planey, les roches dominantes sont le quartz micacé et talqueux, le talcschiste passant au gneiss. En descendant du Planey au Villard-Goitreux, on rencontre tout près de ce village de nouvelles couches de quartz, puis un banc épais de calcaire en partie changé en gypse, qui s'enfonce évidemment sous toute la série des roches cristallines que l'on a précédemment traversée. Ce calcaire est l'équivalent géologique de celui de Pralognan et sert, comme lui, de base et de limite au troisième étage.

Environs de Pesey.

A Pesey, le calcaire immédiatement supérieur à la mine de plomb, que nous avons dit être le prolongement direct du calcaire de Villard-Goitreux, sert, comme lui, de support à une formation cristalline représentant le troisième étage. Les roches les plus basses sont encore ici des quartz compactes dont nous avons vu que l'association aux masses calcaires était très-fréquente ; puis viennent des schistes micacés et talqueux, quelquefois feldspathiques, et des quartz micacés qui alternent un grand nombre de fois ensemble et passent les uns aux autres par des transitions insensibles. Ces roches constituent entièrement la partie la plus élevée du vallon de Pesey, au sud de la mine de plomb. Elles

forment, soit à droite, soit à gauche, des pics élancés, des crêtes aiguës et déchiquetées recouvertes en grande partie par des glaciers et des neiges perpétuelles.

Il résulte de ces observations que le troisième étage est composé, comme ceux qui le précèdent, d'une partie supérieure calcaire et d'une partie inférieure dont les caractères minéralogiques sont très-variés. Celle-ci est, suivant les localités, arénacée, marneuse ou composée de roches cristallines. L'assise calcaire ne se montre sur une grande étendue que dans le département des Hautes-Alpes, où on peut la suivre depuis les environs du col du Chardonnet jusqu'au delà de Saint-Ours, près de Meyronnes (Basses-Alpes). On y trouve des ammonites et des bélemnites qui rappellent celles du lias. Les couches arénacées de l'assise inférieure sont très-développées près de Briançon, où elles renferment de nombreux gîtes d'anthracite avec des restes de plantes appartenant à la flore carbonifère. Sous le rapport minéralogique, ces couches sont identiques avec celles des terrains houillers. Elles acquièrent aussi une puissance très-considérable entre Névache et Querellin, ainsi qu'aux environs du mont Thabor dans la vallée de l'Arc entre Modane et Saint-Michel. Dans la Tarentaise, le troisième étage a pour caractère distinctif d'être composé à peu près exclusivement de roches quartzeuses, talqueuses et micacées qui constituent sur la gauche de l'Isère de hautes sommités couvertes en général de glaciers et de neiges perpétuelles. Comme sur un grand nombre de points, ces roches reposent incontestablement sur des masses calcaires qui sont elles-mêmes très-élevées dans la série des couches anthraxifères, il faut bien admettre que, malgré leur composition cristalline, elles sont de beaucoup supérieures à d'autres d'une nature évidemment sédimenteuse.

Résumé du 3e étage.

§ 4. Quatrième étage.

Nous voici arrivé au quatrième étage, qui termine tout le système anthraxifère d'une manière très-remarquable. C'est au Chardonnet qu'il se présente avec le plus de développement et où ses relations géologiques avec l'étage précédent sont le plus faciles à étudier. En décrivant avec détails les couches de cette montagne dans notre coupe générale, nous avons montré que vers le nord elles dépassaient à peine les chalets appelés *Granges de Moutiers*, situés au delà du col de la Ponsonnière. Il nous reste à suivre leur prolongement sud dans le département des Hautes-Alpes.

Prolongement sud des grès du Chardonnet.

En partant du col du Chardonnet, on peut se rendre directement au Monestier en laissant à droite les escarpements calcaires qui font suite à la montagne de *Terre-Noire*, et à gauche ceux du calcaire de *Querellin*. Dans ce trajet on ne cesse de marcher sur des grès, continuation évidente de ceux du Chardonnet. On passe au-dessus du vallon de Clausis en se tenant pendant longtemps au niveau des pâturages les plus élevés. De distance en distance, on rencontre des exploitations d'anthracite ouvertes par les habitants du Casset et du Monestier. Ces exploitations, qui se lient presque sans solution de continuité à celles du vallon de la Ponsonnière, se prolongent vers le sud-ouest jusqu'au delà du village de Freyssinet, dans la vallée de la Guisanne. On acquiert ainsi la certitude que les couches anthraxifères qui occupent le fond de cette vallée, entre le Monestier et la Salle, peuvent être rattachées d'une manière directe à celles du Chardonnet. En décrivant ces dernières couches, nous y avons cité plusieurs empreintes végétales spéciales au terrain houiller. Leur prolongement vers le Monestier en renferme également

qui offrent les mêmes caractères paléontologiques. On les trouve sur le chemin qui conduit au col de Buffer et dans les exploitations d'anthracite des environs. Ce sont les espèces suivantes : *Lepidodendron Sternbergii*, *Sigillaria Brardii*, *Stigmaria ficoïdes*, *Neuropteris gigantea*, *Sphenopteris latifolia*. Il faut y ajouter des *Lepidophloios* et des *Poacites* indéterminables. Plusieurs de ces espèces et de celles qu'on rencontre au Chardonnet ont déjà été citées dans les mines d'anthracite du Puy-Saint-Pierre, appartenant au troisième étage.

Le système arénacé du Chardonnet, après avoir traversé la vallée de la Guisanne, s'étend encore plus au sud. Pour le suivre, il faut, à partir du Bès, hameau de la Salle, prendre le chemin qui conduit au col de Fréjus. En quittant le village, on marche d'abord au pied d'un banc très-puissant de quartz blanc, compacte, dans lequel le chemin est taillé. Quand on est parvenu au niveau du village de Fréjus, on voit très-bien que la masse quartzeuse qui domine le Bès et sur laquelle on a marché s'appuie contre une puissante assise calcaire, prolongement direct de celle de *Terre-Noire*. En continuant à monter, on atteint des bancs de quartz rendus schisteux par une grande abondance de talc et de mica et qui passent graduellement à de vrais schistes talqueux et micacés entièrement semblables à ceux des terrains cristallisés. Ces schistes constituent le sommet du col de Fréjus et les pâturages environnants. Comme leur épaisseur est peu considérable, on voit le calcaire inférieur, correspondant à *Terre-Noire*, les percer çà et là et présenter de nombreux affleurements, ce qui rend la position relative des deux roches très-évidente. Si du col de Fréjus on descend par le vallon de Paquet pour se rendre à Prelles, on marche d'abord sur des quartz micacés et des schistes plus ou moins cristallins faisant

suite à ceux du col, puis sur des roches arénacées. Lorsqu'on approche de la vallée de la Durance, on remarque sur le flanc droit de grandes masses de quartz appliquées contre le rocher calcaire de la montagne des Tenailles. Ce quartz, qui se trouve dans la même position géologique que celui du Bès, s'étend depuis les environs de Prelles jusqu'au hameau du Bouchier, et sert de support immédiat à des couches de grès et de schistes argileux où l'on a ouvert quelques exploitations d'anthracite, principalement dans le vallon de Prelles. Les grès de cette dernière localité, en se prolongeant vers le sud-sud-est, traversent la Durance et constituent au delà du village de Saint-Martin-de-Queyrières un groupe assez épais de couches anthraciteuses que la grande route longe dans toute son étendue, sur un espace de plus de 2 kilomètres. Elles renferment plusieurs gîtes de combustible assez puissants et d'une allure régulière que les habitants du pays exploitent depuis longtemps avec activité.

Les roches de quartz avec grès à anthracite qui s'étendent depuis les environs de Prelles jusqu'au hameau du Bouchier sont coupées un peu plus au sud par la Gironde, mais on les retrouve immédiatement au delà de cette rivière, en face des Vigneaux, avec des circonstances de gisement entièrement semblables; en sorte que leur parallélisme géologique ne saurait être douteux. A partir de ce point, on les suit d'une manière continue jusqu'à l'Argentière, où elles renferment des mines de plomb sulfuré argentifère d'une grande richesse, qui ont été à diverses époques et sont encore aujourd'hui l'objet d'une exploitation avantageuse.

Il résulte des observations précédentes que les couches de quartz et de grès à anthracite de l'Argentière, de Prelles et de Saint-Martin-de-Queyrières sont inti-

mement liées entre elles et peuvent être rattachées sans discontinuité aux quartz micacés et schistes cristallins du col de Fréjus, et de là au puissant système arénacé qui constitue le Chardonnet. Les grès de l'Argentière ne s'étendent guère au delà de ce village. Après avoir été coupés par un torrent nommé le Fournel, qui descend du vallon de l'Alp-Martin, ils vont en s'amincissant jusqu'à une distance d'environ 2 kilomètres; puis ils disparaissent complétement. Plus au sud, on n'observe aucun dépôt de grès anthraxifère qui puisse être rapporté au quatrième étage. Celui-ci est donc compris entre des limites très-restreintes en comparaison des étages précédents. Il ne dépasse pas au nord les Granges de Moutiers, et au sud la commune de l'Argentière, ce qui fait en ligne droite une longueur de 36 kilomètres. Sa plus grande largeur se trouve aux environs du col du Chardonnet, où elle atteint à peu près 3 kilomètre et demi.

Nous allons revenir avec quelques détails sur le dépôt quartzeux et arénacé de l'Argentière qui est à la fois intéressant par ses filons de plomb sulfuré et par ses relations géologiques avec les couches plus anciennes environnantes. Ce dépôt est situé sur la rive droite de la Durance, en face de l'Abessée. On le coupe dans toute son étendue en se rendant de ce dernier village dans le vallon de l'Alp-Martin, par le chemin qui suit la rive gauche du Fournel. Après avoir traversé la Durance, on marche d'abord sur des marnes calcaires schisteuses formant le fond de la vallée et appartenant, comme on l'a vu plus haut, à la partie inférieure du troisième étage. Quand on est arrivé près d'un hameau appelé les *Bertrands*, on commence à rencontrer des grès fins, mal stratifiés, associés à des schistes argileux et à des poudingues quartzeux. Pour bien observer la jonction

Grès et quartz de l'Argentière.

de ces grès avec les marnes calcaires, il faut suivre les flancs de la montagne vers le nord jusqu'à ce que le terrain, devenu abrupte, présente un talus très-roide descendant jusqu'à la Durance. Là, on voit la superposition immédiate des couches arénacées sur les roches calcaires. Les unes et les autres sont à peu près dirigées du nord au sud et inclinent vers l'ouest. Leur ligne de contact est un peu sinueuse et peut se suivre sur une grande longueur. Si l'on reprend le chemin de l'Alp-Martin, on continue à marcher sur des schistes argileux et des grès superposés aux premiers. Ce système argilo-arénacé renferme quelques couches d'anthracite dont une, épaisse de 0^{m},80 à 1 mètre, est exploitée sur la rive droite du Fournel, au lieu dit Côte-Olivière. A ces grès, qui présentent dans leur ensemble une épaisseur considérable, on voit succéder, près d'un oratoire situé sur le chemin, une brèche remarquable dont le ciment, de nature siliceuse, empâte des fragments de quartz, de calcaire grenu, de jaspe rouge et de grès schisteux également rougeâtre. Les bancs sont verticaux ou inclinés fortement vers l'ouest. Après cette brèche siliceuse, viennent des roches de quartz compacte dont la puissance est au moins de 60 à 70 mètres; elles sont divisées en strates assez distincts qui plongent fortement vers l'ouest. C'est dans cette masse quartzeuse que se trouve la mine de plomb de l'Argentière. Elle consiste en quatre ou cinq filons de plomb sulfuré argentifère, intimement mêlé de cuivre gris et ayant pour gangue de la baryte sulfatée et du quartz. Leur direction est comprise en général entre le nord et le nord-est, et leur puissance varie depuis quelques décimètres jusqu'à 3 ou 4 mètres. On y observe beaucoup de rejets et de failles, conséquence des dislocations violentes dont le sol offre partout les

traces. L'exploitation du minerai souvent interrompue a commencé à une époque très-ancienne, qui remonte au moins jusqu'à la domination romaine. Les bancs de quartz avec filons de plomb sulfuré reposent immédiatement sur l'assise calcaire que l'on rencontre à l'entrée du vallon de l'Alp-Martin, et dont l'inclinaison vers l'est est très-sensible. Cette superposition s'aperçoit très-bien du chemin qui borde le torrent. Elle a d'ailleurs été constatée rigoureusement par des travaux d'exploitation entrepris en 1835. En examinant les relations de cette assise calcaire avec les bancs quartzeux qui, jusqu'au contact même, sont verticaux ou plongent à l'ouest, il est difficile de ne pas admettre une discordance de stratification entre les deux formations. Les roches quartzeuses et le calcaire immédiatement inférieur se prolongent de la rive gauche du Fournel sur la rive droite; mais de ce côté, leur disposition relative n'est plus la même. Le calcaire, coupé à pic, s'élève bien au-dessus des bancs quartzeux. Ceux-ci forment comme une espèce de revêtement à sa base et paraissent même s'enfoncer au-dessous. Cette apparence, qui pourrait induire en erreur si l'on n'étudiait pas le terrain attentivement et d'une manière complète, est une nouvelle preuve de la discordance de stratification que nous avons signalée. Cette discordance est aussi une conséquence de l'ensemble des observations précédentes. On a vu en effet que d'un côté, près de la Durance, le dépôt anthraxifère reposait immédiatement sur des marnes, partie inférieure du troisième étage, et de l'autre sur une assise calcaire, partie supérieure du même étage. Ce dépôt s'étend donc transgressivement sur des couches d'âge différent. On doit en conclure qu'avant le dépôt des grès anthraxifères de l'Argentière, cette partie de la vallée de la Du-

rance avait éprouvé des dislocations violentes qui avaient mis à découvert les marnes du troisième étage et porté à une grande hauteur le calcaire supérieur. Cette conclusion est confirmée par d'autres observations que l'on peut faire aux environs. Ainsi la montagne de Roche-Moute, qui domine Saint-Martin-de-Queyrières, est formée à son pied de grès et de schistes correspondant à l'assise inférieure du troisième étage et à son sommet de bancs calcaires qui en représentent la partie la plus élevée. C'est contre les schistes arénacés inférieurs que s'appuient immédiatement les grès du quatrième étage où nous avons dit que l'on exploitait des couches de combustible près du village. Les grès de Prelles, qui sont de même âge que ceux de Saint-Martin-de-Queyrières, présentent des circonstances de gisement semblables.

Résumé du 4e étage. Le quatrième et dernier étage anthraxifère diffère de tous ceux qui le précèdent par l'absence des roches calcaires. Il est composé exclusivement de quartz grenu ou compacte, de psammite, de grès quartzeux micacé, de schiste argileux, de poudingue anagénite et d'autres roches que l'on rencontre habituellement dans les terrains houillers. On y observe aussi de nombreuses couches d'anthracite, des schistes talqueux et micacés, du porphyre d'origine probablement métamorphique, ainsi que des filons de plomb sulfuré, de cuivre gris et de cuivre pyriteux. Ces diverses roches ont rempli un petit bassin à parois calcaires et de forme très-allongée qui s'étend dans la direction du N.-N.-O. au S.-S.-E. depuis les Granges de Moutiers, au nord du col de la Ponsonnière, jusqu'à un point situé à 2 kilomètres environ au sud de l'Argentière. Sa longueur totale est de 36 kilomètres, et sa plus grande largeur de 3 kilomètres et demi. C'est à cet étage que l'on doit

rapporter dans les Hautes-Alpes les mines d'anthracite de la Ponsonnière, du Chardonnet, du Monestier, de Prelles, de Saint-Martin-de-Queyrières et de l'Argentière. Aux environs de ce dernier village, le bassin à parois calcaires avait subi de fortes dislocations avant le dépôt des grès à anthracite, en sorte qu'il y a discordance complète de statification entre ceux-ci et les couches immédiatement inférieures.

Jusqu'à présent, on n'a découvert dans le quatrième étage anthraxifère aucune trace de coquilles fossiles; mais il renferme souvent, surtout dans le voisinage des mines de combustible, des empreintes végétales identiques avec celles qui caractérisent le mieux la flore carbonifère, en sorte qu'en faisant abstraction de la position géologique de cet étage et en ne considérant que sa composition minéralogique et ses restes organisés, on ne voit rien qui puisse le distinguer d'un vrai terrain houiller.

Résumé général et conclusions.

Les faits les plus importants contenus dans ce mémoire peuvent se résumer de la manière suivante :

Les couches de sédiment comprises dans l'intérieur d'un triangle ayant pour sommets le mont Blanc, le mont Pelvoux et le mont Viso appartiennent à peu près exclusivement au système anthraxifère des Alpes, c'est-à-dire qu'elles renferment dans leur sein des dépôts d'anthracite avec restes de végétaux propres aux terrains houillers.

Le système anthraxifère, pris dans son ensemble, se divise en deux grands terrains d'une puissance énorme que l'on peut distinguer par les épithètes d'inférieur et de supérieur.

Le terrain inférieur étant recouvert en partie par des

couches plus récentes se divise, relativement à celles-ci, en deux zones, l'une occidentale, l'autre orientale. La première zone borde sur presque toute sa longueur la chaîne de sommités granitiques qui s'étend du mont Blanc au mont Pelvoux. Elle est essentiellement composée d'une puissante formation de schiste argilo-calcaire que termine une assise de calcaire plus solide à structure ordinairement schisteuse. Les schistes argilo-calcaires en contact immédiat avec les roches cristallisées, offrent avec elles des relations géologiques compliquées et souvent contradictoires. On y trouve des coquilles fossiles, particulièrement des bélemnites et des ammonites d'espèces propres au lias. On y rencontre également des couches subordonnées de grès à anthracite avec empreintes de végétaux houillers. Ces dernières couches, si distinctes des schistes argilo-calcaires par leurs caractères minéralogiques et paléontologiques, ne peuvent cependant en être séparées géologiquement. La seconde zone ou l'orientale comprend une grande partie des frontières du Piémont et des contrées qui en sont voisines; elle s'appuie immédiatement sur les montagnes de granite et de gneiss qui forment de ce côté les derniers gradins des Alpes. Considérée dans son ensemble, elle présente la même composition et le même aspect général que la zone occidentale; mais elle en diffère par la nature plus cristalline de ses roches et par l'absence complète de gites de combustible et de toute espèce de fossiles. Sa partie inférieure consiste en une longue série de schistes calcaréo-talqueux passant au talcschiste et au schiste argileux micacé, et sa partie supérieure en une puissante assise de calcaire grenu Ce terrain offre une épaisseur prodigieuse qui n'est comparable qu'à celle des terrains de transition les plus anciens. Son étendue paraît immense, il est probable

qu'il forme la base des Alpes sur presque toute leur longueur.

Le terrain anthraxifère supérieur pris en masse ne le cède guère au précédent sous le rapport de la puissance, mais il est beaucoup moins étendu. Il a rempli l'intérieur d'un bassin qui paraît limité de tous côtés par le terrain inférieur. Ce bassin, peu large en comparaison de sa longueur, occupe le centre de la Tarentaise, de la Maurienne et du Briançonnais, et se prolonge par ses deux extrémités dans le Piémont, en affectant la forme d'un arc de cercle concentrique au contour général de la chaîne des Alpes. L'ensemble des couches renfermées dans son intérieur se divise en quatre étages distincts, qui se succèdent en occupant des espaces de moins en moins larges; en sorte que chacun d'eux laisse à découvert sur une certaine étendue les bords du précédent.

Les trois premiers étages sont composés dans leur partie la plus élevée d'une assise calcaire, et, au-dessous, d'une assise schisteuse où dominent, suivant les localités, des grès semblables à ceux du terrain houiller, des marnes et des schistes calcaires, ou bien du quartz micacé et des schistes talqueux. Ces dernières roches, identiques, quant à leurs caractères minéralogiques, avec celles des terrains cristallisés les plus anciens, sont cependant parallèles ou supérieures à des couches de sédiment, ainsi que le prouvent de nombreuses superpositions. Les parties arénacées de ces trois étages sont souvent accompagnées de gîtes d'anthracite avec restes de végétaux de l'époque carbonifère. Les assises calcaires renferment de leur côté, quoique rarement, des coquilles fossiles que l'on a reconnues être d'espèces propres au lias, comme celles du terrain anthraxifère inférieur.

Le quatrième et dernier étage est exclusivement composé de quartz grenu ou compacte, de schiste argileux, de poudingues quartzeux et d'autres roches que l'on rencontre habituellement dans les terrains de transition. On n'y trouve aucune trace de calcaire ni de coquilles fossiles, mais les dépôts d'anthracite avec empreintes végétales carbonifères y sont au contraire abondamment répandus; en sorte que sous le rapport minéralogique et paléontologique, ce système de couches ne diffère en rien d'un vrai terrain houiller. Le bassin qu'il occupe ne dépasse pas les limites du Briançonnais, il est par conséquent très-petit en comparaison de ceux des étages précédents. On remarque qu'avant d'avoir été rempli il avait subi des dislocations violentes sur quelques points; ce qui a produit une discordance de stratification très-prononcée entre les grès déposés à l'intérieur et les couches calcaires sous-jacentes.

Comme le trait le plus caractéristique du système anthraxifère des Alpes est de renfermer depuis sa base jusqu'à sa partie la plus élevée des espèces végétales propres au terrain houiller, nous allons en présenter un tableau général en distinguant le terrain inférieur du supérieur, et en réunissant à nos citations celles qui se trouvent dans les mémoires de M. Élie de Beaumont. Toutes les déterminations spécifiques de ce tableau ont été faites ou vérifiées par M. Adolphe Brongniart. Leur exactitude ne saurait avoir une meilleure garantie.

NOMS DES GENRES ET DES ESPÈCES.	TERRAIN ANTHRAXIFÈRE INFÉRIEUR. — Localités.	TERRAIN ANTHRAXIFÈRE SUPÉRIEUR. — Localités.	LIEUX ET TERRAINS HORS DES ALPES dans lesquels les mêmes espèces ont été recueillies.
Neuropteris gigantea (STERNB.)	Servos, en Savoie	Le Monestier (Hautes-Alpes)	Terrains houillers de la Bohême et de Sarrebruck.
— *tenuifolia* (STERNB.)	Petit-Cœur; col de Balme		*Idem* de Liége et de Newcastle.
— *flexuosa*		Macot, en Tarentaise	*Idem* de Liége et de Bath.
— *Soretii* (AD. BR.)		Même localité	»
— *cordata* (AD. BR.)	Huez, en Oisans		*Idem* d'Alais et de St-Étienne.
— *rotondifolia* (AD. BR.)	Col de Balme	Macot	*Idem* de Plessis (Calvados).
Odontopteris Brardii (AD. BR.)	Petit-Cœur; mont de Lans		*Idem* de Terrasson (Dordogne).
— *obtusa* (AD. BR.)	Col de l'Écuelle, près Chamouny; Petit-Cœur.		Terrasson; Saint-Étienne.
Sphenopteris latifolia (AD. BR.)		Le Monestier; Puy-Saint-Pierre.	Newcastle; Sarrebruck.
Pecopteris oreopteridius (STERNB.)	Mine de Notre-Dame-de-Vaux, près la Mure		Terrain houiller de Mannebach.
— *Candolliana* (AD. BR.)	Mine de la Grande-Draye, près la Mure.		*Idem* d'Alais (Gard).
— *Grandini* (AD. BR.)	Même localité		*Idem* de Geislautern.
— *cyathea* (AD. BR.)	Mines du Grand-Menay et du Villaret, près la Mure.		*Idem* de Saint-Étienne.
— *arborescens* (AD. BR.)	Mines du Grand-Menay et du Villaret, près la Mure; Valbonnais; Petit-Cœur.		*Idem* de Saint-Étienne et d'Aubin (Aveyron), etc.
— *polymorpha* (AD. BR.)	Venosc en Oisans; Petit-Cœur.		Saint-Étienne, Alais et la plupart des terrains houillers.
— *pteroides* (AD. BR.)	Mine du Peychagnard, près la Mure.		Liége, Mannebach, St-Étienne.
— *platyrachis* (AD. BR.)	Valbonnais (Isère)		Saint-Étienne.
— *Beaumontii* (AD. BR.)	Petit-Cœur		»
— *Pluckenitii* (AD. BR.)	Petit-Cœur; col de l'Écuelle		Alais; Saint-Étienne.
— *obtusa* (AD. BR.)	Petit-Cœur		Terrasson.
Lepidodendron	Environs de la Mure	Environs de Briançon	Genre exclusivement propre aux terrains houillers.
Lepidodendron ornatissimum (STERN).		Chardonnet; Puy-Saint-Pierre.	Yorkshire; Silésie.
— *crenatum* (STERNB.)		Mêmes localités	Bohême; Eschweiler, etc.

NOMS DES GENRES ET DES ESPÈCES.	TERRAIN ANTHRAXIFÈRE INFÉRIEUR. — Localités.	TERRAIN ANTHRAXIFÈRE SUPÉRIEUR. — Localités.	LIEUX ET TERRAINS HORS DES ALPES dans lesquels les mêmes espèces ont été recueillies.
Lepidodendron Sternbergii (AD. BR.)	. . . .	Col de Buffer.	Swina.
— *turbinatum* (AD. BR.)	. . . .	Mine de Combarine au Puy-Saint-Pierre.	Sarrebruck.
Lepidophyllum lineare (AD. BR.)	. . . .	Puy-Saint-Pierre.	Environs de Liége.
Lepidophloios (STERNB.)	. . . .	Mine de Combarine.	Tiges de lycopodiacées propres aux terrains houillers.
Calamites Suckorii (AD. BR.)	. . . .	Chardonnet; Puy-Saint-Pierre.	Newcastle; Liége, etc.
— *Cistii* (AD. BR.)	. . . .	Mêmes localités.	Sarrebruck.
— *approximatus* (STERNB.)	. . . .	Chardonnet.	Alais; Liége; Saint-Etienne.
— *cannæformis* (SCHL.)	. . . .	Même localité.	Alais; Yorkshire, etc.
Asterophyllites tenuifolia (AD. BR.)	Mine de Notre-Dame-de-Vaux.	. . . .	Alais; Newcastle.
Sphenophyllum.	Mont de Lans.	. . . .	Ce genre ne se trouve que dans le terrain houiller.
Annularia brevifolia (STERNB.)	Col de Balme; Huez; mines de la Mure.	. . . .	Espèces communes dans les terrains houillers.
— *longifolia* (STERNB.)	Mont de Lans.	. . . .	
Sigillaria.	Environs de la Mure.	Environs de Briançon.	Genre exclusivement propre aux terrains houillers.
Sigillaria notata (AD. BR.)	. . . .	Chardonnet.	Sarrebruck; Liége; Silésie.
— *Brardii* (AD. BR.)	. . . .	Mine de Combarine; col de Buffer.	Terrasson.
— *Defrancii* (AD. BR.)	Mine de la Grande-Draye.	. . . .	Alais.
— *elongata* (AD. BR.)	. . . .	Mine de Combarine.	Charleroi; Liége.
— *lepidodendrifolia* (AD. BR.)	. . . .	Même localité.	Saint-Etienne.
— *striata* (AD. BR.)	. . . .	Même localité.	»
— *Schlotheimii* (STERNB.)	. . . .	Puy-Saint-Pierre.	»
— *tesselata* (AD. BR.)	. . . .	Chardonnet; Puy-Saint-Pierre.	Alais; Bath.
Stigmaria.	Mines de la Mure.	Environs de Briançon.	Genre caractéristique des terrains houillers.
Stigmaria ficoides (AD. BR.)	. . . .	Puy-Saint-Pierre; col de Buffer.	La plupart des terrains houillers
Cardiocarpon.	Mont de Lans.	. . . .	Fruits propres aux terrains houillers.

Le tableau ci-dessus ne donne qu'une idée incomplète de la richesse du système anthraxifère en végétaux fossiles. Outre les espèces citées, il en renferme un grand nombre d'autres qui sont ou nouvelles, ou trop mal conservées pour être rapportées avec certitude aux espèces connues. Mais il est à remarquer que tous ces végétaux, sans exception, présentent une analogie complète avec ceux des terrains houillers et appartiennent par leurs caractères à la flore carbonifère : pas un seul débris parmi ces plantes ne rappelle celles du terrain jurassique.

Nous avons dit en commençant que notre but n'était point de chercher à fixer l'âge géologique du système anthraxifère. Nous ne croyons pas en effet qu'il soit possible aujourd'hui de décider cette question (1) ; mais ce que nous pouvons faire dès à présent, c'est d'insister sur les différences profondes qui, à notre avis, séparent ce système de couches du terrain jurassique tel qu'on l'observe en Angleterre et dans l'est de la France. Parmi ces différences, la plus importante est sans contredit l'opposition tranchée des deux flores.

---

(1) Dans notre opinion, la question était moins douteuse il y a vingt-cinq ans qu'aujourd'hui, et lorsque à cette époque l'éminent géologue que nous avons eu si souvent l'occasion de citer a annoncé la présence de coquilles liassiques dans le système anthraxifère, les conséquences qu'il en a tirées ont été et devaient être généralement adoptées. Depuis lors, les progrès de la botanique fossile ont prouvé de plus en plus qu'il y avait une différence extrêmement tranchée entre la flore houillère et celle du terrain jurassique, et que l'exception présentée par les Alpes était unique. S'il en est ainsi, n'est-il pas temps enfin d'examiner sérieusement à quoi tient cette exception, et pour résoudre une pareille question ne convient-il pas de faire abstraction des opinions reçues et d'adopter pour elle le doute cartésien? C'est sous l'influence de cette considération que nous avons écrit les conclusions de notre mémoire.

A une époque où la botanique fossile était moins avancée, on aurait pu soutenir que les deux terrains que nous comparons sont mal caractérisés par leurs restes végétaux et qu'on ne doit attacher à ceux-ci qu'une importance médiocre. Une pareille assertion serait aujourd'hui en contradiction manifeste avec les faits. Grâce aux travaux de MM. Adolphe Brongniart, Gœppert, de Sternberg et d'autres savants botanistes, les flores du terrain houiller et du terrain jurassique commencent à être bien connues. On compte dans le premier terrain au moins 500 espèces très-distinctes et 225 dans le second. Or, non-seulement parmi ces espèces il n'y en a pas une de commune, mais leurs caractères généraux sont tout différents. Des genres et même des familles que l'on rencontre habituellement dans le terrain houiller ont disparu complétement à l'époque oolitique. Cette séparation tranchée des deux flores ne saurait être attribuée à l'influence de la latitude, car les lieux où elles ont vécu successivement sont souvent très-voisins. On ne peut non plus invoquer des circonstances locales particulières ; car il y a certainement entre les plantes houillères et celles du terrain jurassique une différence plus grande qu'entre la végétation actuelle des régions équinoxiales et celle du nord de l'Europe. Or, à qui ferait-on croire qu'en choisissant des expositions favorables toutes les plantes caractéristiques de l'équateur pourraient vivre sous le 60° degré de latitude? Il faut donc admettre qu'une variation aussi complète dans la nature des flores correspond à des changements non moins considérables dans l'état physique du globe. Peut-être n'arriverait-on pas aussi sûrement à la même conclusion en ne considérant que les mollusques. On sait que dans le sein du même terrain on voit souvent se succéder d'un groupe

de couches à l'autre un ensemble de coquilles très-différentes sans qu'il y ait cependant de discordances de stratification ni que rien n'indique une perturbation générale ni même locale. Ce fait semble prouver que des modifications peut-être légères dans la profondeur et la composition chimique des eaux et dans la nature des fonds ont suffi autrefois pour faire varier les coquilles. Comme les sources thermales et minérales, et en général les émanations de matières liquides ou gazeuses étaient alors fréquentes, on conçoit qu'à la même époque géologique des bassins ne communiquant pas entre eux, quoique très-rapprochés, ont pu nourrir des animaux de nature très-différente. Il n'en a pas été de même de la végétation, dont les caractères généraux étant liés à des conditions physiques plus stables et presque universelles, telles que la température du sol et la composition de l'atmosphère, ont dû persister malgré les perturbations locales et ne disparaître qu'à la suite de grands changements survenus à la surface de la terre. Ainsi, loin qu'on doive attribuer plus d'importance aux coquilles qu'aux plantes fossiles, celles-ci, considérées dans leurs formes principales, nous paraissent plus propres que les premières à distinguer deux grandes époques géologiques.

La flore anthraxifère, identique par ses genres et ses espèces avec la flore houillère, lui est encore liée par un autre point commun intéressant à signaler. On sait qu'à partir des couches houillères les plus récentes et même à partir du grès rouge jusqu'aux terrains de transition les plus anciens, les végétaux fossiles, considérés dans leur ensemble, ne présentent pas de différences importantes. Ce sont toujours à peu près les mêmes espèces. Ce qui n'empêche pas que si l'on considère en particulier un terrain carbonifère d'une

certaine épaisseur, les couches situées à la base renfermeront le plus souvent une collection d'espèces différentes de celles de la partie supérieure ; ce qui s'explique par les changements survenus à la surface du sol pendant la période du dépôt. Le système anthraxifère offre les mêmes particularités. En jetant les yeux sur le tableau des végétaux qui lui sont propres, dressé plus haut, on voit qu'à l'exception des *Neuropteris gigantea* et *N. rotondifolia*, il n'y a pas d'espèces communes entre le terrain inférieur et le supérieur. Mais si au lieu de comparer ces deux terrains entre eux on les rapproche des formations houillères, toute différence paléontologique s'évanouit ; car l'on trouve également, dans l'un et dans l'autre, des plantes qui sont fréquentes dans les terrains houillers et propres à les caractériser. Sous ce rapport le système anthraxifère offre de l'analogie avec les formations paléozoïques et s'éloigne du terrain jurassique. On sait en effet que dans ce dernier les divers étages se distinguent assez bien entre eux par un ensemble de plantes qui leur paraissent spéciales.

Même sous le rapport des coquilles fossiles le système anthraxifère diffère du terrain jurassique. En effet, celui-ci se divise partout en plusieurs étages que l'on reconnaît facilement à un certain nombre de fossiles caractéristiques. Les coquilles du système anthraxifère, soit qu'elles aient été prises à sa base ou à un niveau géologique élevé, comme au col des Encombres et à Montdauphin, appartiennent toutes au lias ; ce qui conduirait à ne rapporter qu'à ce seul étage une immense série de couches qui cependant sont susceptibles de se diviser naturellement en plusieurs groupes bien distincts.

L'épaisseur prodigieuse des couches anthraxifères

prises dans leur ensemble, épaisseur que l'on peut évaluer en moyenne à huit ou neuf mille mètres, les sépare encore de la formation liassique normale, dont la puissance ne dépasse jamais quelques centaines de mètres.

Le faciès des roches a certainement peu d'importance pour la classification des terrains, surtout dans les Alpes, à cause de la fréquence des altérations métamorphiques; mais il n'en est pas de même de la composition minéralogique, lorsque d'ailleurs elle est restée indépendante de ces altérations. Or, sous ce rapport, comme sous tant d'autres, les couches anthraxifères sont exceptionnelles. Nous avons vu en effet que plus de la moitié du terrain supérieur était formée de roches arénacées identiques avec celles que l'on reñcontre habituellement dans les terrains de transition et jamais dans le terrain jurassique.

Nous ajouterons que tout autour des Alpes centrales, dans les départements des Basses-Alpes, des Hautes-Alpes et de l'Isère, le terrain jurassique normal occupe de vastes étendues; qu'il s'y présente avec ses fossiles habituels, sa division en plusieurs étages et enfin sa flore particulière. A la Mure, près de Grenoble, il est en contact immédiat avec le terrain anthraxifère inférieur et repose sur lui transgressivement ainsi que le prouvent de nombreuses observations. A Morestel (Isère) et dans le département de l'Ain, il renferme des plantes exclusivement oolitiques. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'aller en Angleterre ou dans le Jura pour trouver des différences essentielles entre le système des couches anthraxifères et le terrain jurassique. Ces différences s'observent dans le sein même des Alpes.

Concluons de là que le système anthraxifère se dis-

tingue des formations jurassiques par des différences nombreuses, qu'avant de fixer d'une manière définitive sa position dans l'échelle générale des terrains, il convient de l'étudier dans toute son étendue, et par conséquent bien au delà de la Savoie et des Hautes-Alpes où nous avons borné nos observations. Quant à nous notre but aura été atteint si, tout en démontrant la nécessité de ces nouvelles recherches, nous en avons facilité l'exécution en leur donnant un point de départ.

NOTE

Sur les cartes et les coupes géologiques jointes à ce mémoire.

Ce mémoire est accompagné de deux cartes géologiques : la première est destinée à faire connaître dans son ensemble le système anthraxifère des Alpes de la France et de la Savoie; l'autre, dressée à une plus grande échelle pour faciliter les études géologiques, est spéciale aux environs de Briançon. Indépendamment des divers étages anthraxifères dont ces cartes offrent la distribution géographique, elles indiquent d'autres terrains non décrits dans notre mémoire, sur lesquels nous croyons convenable de dire quelques mots.

1° *Terrain de transport ancien.* — Nous avons donné ce nom à un dépôt caillouteux d'une étendue de plusieurs kilomètres quarrés que l'on observe à Montdauphin, au confluent du Gail et de la Durance. Il se divise en deux formations très-distinctes sous le rapport de l'âge et du gisement.

La formation la plus récente offre un mélange confus de sables, de graviers, de gros blocs arrondis ou anguleux et de galets de diverses grosseurs dont quelques-uns sont *polis* et *striés*. On y trouve toutes les variétés des roches du Briançonnais, savoir des protogines, des gneiss, des grès quartzeux des poudingues, etc. Les caractères de ce dépôt doivent le faire rapporter à l'époque glaciaire. Son épaisseur est très-considérable. Il constitue au nord de Montdauphin, au pied des montagnes calcaires, des collines où l'on a bâti plusieurs

hameaux, tels que le Cros, les Hodoules, le Coin et les Morels. On rencontre un lambeau considérable du même terrain plus au sud, sur le chemin qui conduit de Guillestre à Vars.

La seconde formation, ou la plus ancienne, consiste en un conglomérat dont les cailloux arrondis, de grosseur très-variable, sont unis par un ciment calcaire sablonneux, en général très-solide. L'immense majorité de ces cailloux appartient à des calcaires grenus ou compactes, identiques avec ceux du terrain anthraxifère. Les autres sont des grès, des poudingues quartzeux dépendant du même terrain, des serpentines, des euphotides, quelques roches amphiboliques et granitiques. Nous considérons ce conglomérat, qui est recouvert en grande partie par le dépôt glaciaire ci-dessus décrit, comme le dernier terme de la série tertiaire dans les Alpes. Il sert de support immédiat au fort de Montdauphin. De là il s'étend à l'est en passant sous le village d'Eygliers. Vers le sud-est il se prolonge au delà du Guil qui le coupe dans toute son épaisseur, et s'y trouve profondement encaissé.

On rencontre dans la vallée de la Durance, près de Châteauroux et un peu plus loin à Embrun, des conglomérats semblables à celui de Montdauphin et qui en sont contemporains.

2° *Terrain nummulitique.*—Ce terrain est le même que celui de Faudon et de Saint-Bonnet (Hautes-Alpes), qui, avec beaucoup de fossiles spéciaux, en renferme d'autres appartenant à la faune tertiaire. Les grès quartzeux qui en font partie s'appuient sur le versant méridional et oriental des montagnes de protogine que domine le mont Pelvoux, et on peut les suivre d'une manière continue depuis les environs de Faudon jusqu'au col de l'Échauda par lequel on se rend de Vallouise au Monestier. Un peu à l'ouest de ce col, il n'est pas rare d'y rencontrer le *Nummulites contortus* (Desh.).

En se prolongeant vers le sud-est, ce même terrain va couper la vallée de la Durance au plan de Phazy, entre Châteauroux et Montdauphin. Son épaisseur est ici très-considérable et ne peut pas être évaluée à moins de 1.200 à 1.500 mètres, Sa partie inférieure consiste en une longue suite de calcaires noires schisteux et de schistes argilo-calcaires qui alternent dans leur partie supérieure avec des grés quartzeux. Cette série calcaire et arénacée commence entre Châteauroux et Saint-Clément et se continue jusqu'au plan de Phazy, où elle est re-

couverte par une assise assez épaisse d'un calcaire gris, distinctement stratifié, qui coupe très-obliquement la Durance dans la direction du N.-20°-O. au S.-20°-E. Cette assise renferme des bancs subordonnées de roches stéatiteuses, et, audessus, des masses de gypse épigénique. Le calcaire du plan de Phazy s'enfonce lui-même sous un second groupe de schistes argilo-calcaires très-fissiles et de roches arénacées schisteuses micacées, qui supportent le village de Risoul et s'avancent tout près de Guillestre. En les suivant de ce côté jusqu'au torrent de Rioubel, on les voit s'appuyer en stratification transgressive sur le troisième étage anthraxifère. Les grès de cet ensemble de couches présentent deux variétés : les uns à gros grains sont composés à peu près exclusivement de débris de quartz hyalin parmi lesquels on distingue de petits fragments de feldspath reconnaissables à leur texture lamellaire; les autres sont micacés, à grains très-fins, et font en général effervescence avec les acides. Ce sont des macignos qui rappellent ceux de la molasse, sauf que leur dureté est plus grande.

Nous n'avons pas pu découvrir de fossiles dans le système arénacé que nous venons de décrire. Néanmoins, sa superposition discordante sur le troisième étage anthraxifère et sa liaison avec les couches fossilifères de l'Échauda, de Faudon et de Saint-Bonnet, dont les caractères géologiques sont d'ailleurs les mêmes, ne permettent pas de le rapporter à un autre terrain qu'à la formation nummulitique des Alpes.

3° *Terrain de protogine.* — Ce terrain est composé principalement de granite, de gneiss et de schiste micacé qui renferment habituellement une proportion plus ou moins forte de talc; pour cette raison, nous l'avons souvent désigné par le nom de *terrain talqueux.* On y trouve aussi des eurites, des leptinites et des diorites schisteuses; ces diverses roches passent les unes aux autres par des transitions ménagées et alternent ensemble à plusieurs reprises, en sorte qu'on ne peut établir entre elles aucune différence certaine sous le rapport de l'âge. Elles sont coupées par un grand nombre de filons, les uns quartzeux ou feldspathiques, les autres métallifères. Sur quelques points, elles renferment en couches subordonnées soit des calcaires cristallins, soit des grauwackes et des schistes argileux. Ce terrain nous paraît avoir été originairement un

terrain de sédiment que des émanations plutoniques ont profondément modifié.

4° *Spilite, serpentine, euphotide, variolite, porphyre vert.* — Ces diverses roches ne sont pas rares dans les Alpes centrales; on les rencontre tantôt en bancs peu épais intercalés dans le sein des couches de sédiment, tantôt en masses plus considérables irrégulières et sans stratification distincte. Leur formation admet deux explications différentes. On peut supposer que ce sont des masses minérales arrivées au jour à l'état liquide ou pâteux, avec une force d'impulsion telle qu'elles ont bien pu soulever les couches, les disloquer et s'y intercaler, mais non s'épancher à la surface du sol. Nulle part, en effet, ces roches n'ont coulé à la manière des basaltes. Elles se seraient donc consolidées juste à l'orifice des canaux par lesquels elles se sont fait jour sans jamais les dépasser. On peut concevoir aussi qu'elles sont le résultat de l'action chimique exercée pendant un certain temps sur des roches en place par des courants de vapeurs minérales incandescentes, s'échappant par les joints des couches ou par des fentes de forme et de direction quelconques. Suivant que cette action a été plus ou moins intense (1) ou plus ou moins longue, elle a dû changer à la fois la nature minéralogique des roches et effacer leur stratification, ou bien influer seulement sur leur composition chimique et laisser subsister des traces plus ou moins nettes de leur division en couches. Depuis longtemps nous avons adopté cette dernière hypothèse, qui seule nous a paru s'accorder avec l'observation. Il n'est pas rare, en effet, de voir les prétendues roches plutoniques des Alpes offrir une stratification distincte dont l'allure est exactement la même que celle des couches de sédiment environnantes. Cela est surtout vrai pour les spilites et les serpentines, dont l'origine épigénique est quelquefois évidente.

Dans notre mémoire, nous avons insisté à plusieurs reprises sur l'existence de couches cristallines quartzeuses, micacées et talqueuses dans le sein du terrain anthraxifère supérieur. Ces couches sont désignées sur nos cartes géologiques par des hachures superposées en couleurs qui distinguent les divers étages. Quant au terrain anthraxifère inférieur, les roches

(1) Rien n'empêche d'admettre qu'il y a eu quelquefois fusion ou ramollissement des roches sur place.

cristallisées qui en font partie se confondent avec celles du terrain talqueux, ou plutôt elles constituent le terrain talqueux lui-même, au moins sur un grand nombre de points.

Les coupes géologiques jointes à notre travail sont au nombre de cinq. Aucune d'elles n'est théorique, ou, en d'autres termes, elles n'indiquent que des superpositions parfaitement visibles sur les lieux et susceptibles d'être vérifiées par une observation directe. La plus importante est celle qui s'étend de la Grave à Oulx, parce qu'elle embrasse tout le terrain anthraxifère. Pour cette raison, nous nous sommes efforcé de la rendre aussi claire et aussi détaillée que possible. Dans ces diverses coupes, on a un peu exagéré l'épaisseur des assises calcaires, afin de les mieux faire ressortir.

BULLETIN.

PREMIER SEMESTRE 1854.

Sur l'industrie minérale du pays d'Annam (ancienne Cochinchine) (*).

Gà-thi, province du Binh-Dinh,
latitude N. observée 13° 37′ 0″;
longitude E. estimée 106° 39′
(méridien de Paris).

Première lettre.

Messieurs,

Quoique séparé de vous par une distance de plusieurs milliers de lieues, je n'ai pourtant point oublié les obligations que je vous dois à si juste titre, et c'est pour m'acquitter autant que possible d'un devoir de reconnaissance que je me permets de vous adresser les quelques renseignements qui suivront.

En me transportant à l'avance par la pensée dans la position où je vais bientôt me trouver, j'ai en quelque sorte regret de n'avoir pas profité plus longtemps de vos bontés à mon égard, de n'avoir pas suivi complétement les cours de l'École des mines, ou plutôt il faut attribuer ce contre temps aux circonstances qui ne me permettaient pas de prolonger davantage mon séjour à Paris; car pour ma part la bonne volonté ne me manquait pas, persuadé que j'étais des services que ces études pouvaient rendre aux missions, au moins à la mission particulière à laquelle j'étais destiné.

Quoique actuellement je sois encore sur la terre Annamite, ce n'est pourtant point là que je dois me fixer, comme j'ai eu l'honneur de vous le dire autrefois; je dois aller chez les sau-

(*) Ces lettres ont été adressées à MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont par M. Arnoux, ancien élève externe de l'École des mines, et aujourd'hui missionnaire apostolique dans l'Indo-Chine.

L'absence complète de documents sur l'état de l'industrie dans ces lointaines et mystérieuses contrées, la persévérance avec laquelle l'auteur s'applique à soulever le voile qui les couvre, et le caractère dont il est revêtu, donnent à ses lettres un intérêt qui explique assez l'étendue de cette publication. C.

vages qui se trouvent à l'occident de la Cochinchine. Déjà quatre confrères sont parvenus à s'y rendre et à s'y fixer; ils ont traversé les montagnes qui séparent ces régions d'Annam, et maintenant ils sont dans les plaines au pied du versant opposé. Je pense que ces messieurs sont au 14°20' de latitude à peu près. La longitude est encore trop incertaine pour qu'on puisse la déterminer d'une manière passable. Jamais auparavant aucun Européen n'avait pu mettre le pied sur cette terre nouvelle. Les sauvages y sont nombreux et ils donnent de grandes espérances aux missionnaires pour la religion. Là il y a une liberté complète; on n'est point obligé d'être continuellement comme l'oiseau sur la branche, toujours prêt à se sauver, position pénible; c'est pourtant celle de tous les missionnaires qui se trouvent en Cochinchine. D'un autre côté, dans ces régions sauvages tout est encore à faire; ces pauvres sauvages savent cultiver leur riz, un peu faire la chasse aux bêtes des forêts et fabriquer quelques petits instruments avec le fer qu'ils achètent, de côté et d'autre, des Annamites et des Laociens, voilà toute leur industrie; ils ne savent rien de plus, du moins d'après les renseignements que nous avons jusqu'ici. Cependant je vous ferai observer qu'il y a, dit-on, d'autres sauvages plus au nord qui savent extraire le fer de la mine, et on ajoute qu'une grande partie des sauvages de cette tribu sont uniquement occupés à travailler le fer; je ne donne ceci que comme une chose encore incertaine, parce que je ne l'ai apprise que par des *on dit* qui ne viennent point de nos confrères.

Plus tard nous pourrons probablement donner des indications certaines.

Voilà donc, messieurs, un vaste champ ouvert devant moi pour mettre en pratique les leçons que j'ai reçues à l'École des mines; il est à regretter que je n'aie pu en profiter suffisamment et que ma petite science me fasse défaut sur trop de points; néanmoins nous ferons tous nos efforts, de concert avec les confrères, pour établir quelques usines utiles; en première ligne un petit fourneau pour extraire le fer par la méthode catalane; pour les autres métaux je ne puis pas encore en parler, parce que je ne sais point encore ceux que nous pourrons rencontrer. Quant à la céramique, à en juger par ce qu'on m'a rapporté, il paraît qu'elle aura là des argiles de bonne qualité; nous nous occuperons à faire des vases, des bri-

ques et des tuiles. La construction de deux autres usines très-importantes pour nous, est aussi l'objet de nos pensées sérieuses. je veux parler d'une scierie et d'une papeterie ; viendra ensuite l'imprimerie : bien entendu qu'il faudra fabriquer ici le papier chinois, car nous n'aurons pas à notre disposition les chiffons nécessaires pour fabriquer le papier d'Europe. Voilà, messieurs, les usines que nous projetons en première ligne. Aux yeux des Européens ce n'est rien, mais ici, avec le peu de ressources que nous avons, c'est quelque chose, je dirais presque d'herculéen. Cependant, avec de la bonne volonté et de la persévérance, on surmonte bien des difficultés, et c'est ce qui nous fait espérer que nous finirons par réussir tôt ou tard.

Avant de passer aux renseignements scientifiques que j'ai pu recueillir sur la Cochinchine depuis que j'y suis entré, il n'est peut-être pas hors de propos de vous faire remarquer que ces renseignements sont aussi exacts que si j'étais déjà ancien dans cette mission, grâce aux dispositions bienveillantes de notre vicaire apostolique, monseigneur Cuenat, évêque de Métellapolis, qui est on ne peut plus favorable aux idées que j'ai moi-même des sciences. C'est lui qui envoie des hommes explorer les terrains pour m'en apporter les minéraux qu'ils y trouvent, car vous savez que pour nous autres Européens nous sommes obligés de rester toujours cachés. C'est Sa Grandeur encore qui est mon interprète pour les explications que j'ai à demander ; c'est elle en un mot qui fait pour ainsi dire tout le travail, parce qu'elle est au courant et de la langue et des mœurs et qu'elle connaît quantité de personnes qui toutes sont empressées à faire tout ce qu'elle leur commande. Pour moi, je ne fais qu'examiner, demander des explications et prendre mes notes. Je n'ai donc qu'à me féliciter des dispositions si favorables de Sa Grandeur ; elle ne contribue pas peu à m'encourager, non-seulement par ses paroles, mais aussi par son exemple, et je suis bien aise d'avoir ici l'occasion de faire connaître aux amateurs des sciences les excellentes dispositions de ce digne et vénérable évêque. Je passe actuellement aux renseignements annoncés plus haut.

Carbonate de soude.

Un jour on m'a apporté une espèce de sable que l'on disait fort extraordinaire. Les Annamites s'en servent en guise de savon pour laver le linge, ils s'en servent aussi pour faire leur toilette, c'est-à-dire pour décrasser leur longue chevelure, dont l'état normal est d'être passablement sale. Lorsqu'ils veu-

lent cuire quelque chose plus rapidement ou mieux, ils ajoutent un peu de ce sable; il leur sert encore de pierre à cautère, mais il faut l'humecter et lui ajouter un peu de chaux en l'appliquant sur l'endroit à cautériser. Voilà tous les usages de ce sable si extraordinaire; je n'en doute pas, vous avez déjà compris quelle en est la substance : c'est simplement un carbonate de soude qui se trouve mélangé avec un peu d'argile, et non pas avec du sable, comme le disent les Annamites; du moins celui que j'ai vu ne renfermait que de l'argile. Ils l'appellent *Cát lòi*, c'est-à-dire sable proéminent; il n'y a pas de doute que ce nom lui vienne des petites proéminences que forme ce sel lorsqu'il vient s'effleurir à la surface de la terre. Les Annamites se figurent que cette espèce de sable croît à la manière des champignons, ce n'est pas étonnant, puisqu'ils n'ont nulle idée des sciences. Il paraît que cette soude se trouve en grande abondance dans la province appelée *Binh Thuán*, ou ancien Siampa. On en trouve en différents endroits de la province, mais il paraît qu'il n'est en grande abondance que sur une portion du rivage de la mer; le rivage à cet endroit regarde le sud, c'est au 11° degré de latitude environ. Les barques qui vont chercher du riz en basse Cochinchine peuvent prendre là de cette soude à volonté; aussi en distribuent-elles dans toutes les autres provinces du nord; elle n'est pas chère, puisqu'il suffit de la recueillir en passant et de l'emporter. On en vend sur tous les marchés.

Kaolin. Un autre jour on m'a apporté une belle terre, d'un beau blanc laiteux, toute remplie de petits cailloux; de suite je reconnus là une belle argile, ou mieux un kaolin, peut-être de bonne qualité. Les petits cailloux sont du quartz; les plus gros que j'ai trouvés avaient de 4 à 5 millimètres de diamètre, puis il y en avait de tous les diamètres inférieurs, jusqu'à des grains très-ténus. Ces cailloux sont très-nombreux et fortement agglutinés ensemble par la terre kaolinique. L'ensemble forme une roche qui a passablement de consistance et assez rude au toucher; la terre kaolinique me paraît elle-même granulaire.

Le seul usage que les Annamites en font, est de la délayer dans l'eau après avoir rejeté les petits cailloux; ils obtiennent ainsi une bouillie claire avec laquelle ils blanchissent les murs plâtrés de boue de leurs maisons. Il paraît que ce kaolin n'est pas rare, qu'il y en a en grand nombre d'endroits. Les Annamites l'appellent terre blanche; au reste ils rencontreraient de la craie et du

gypse blanc qu'ils les appelleraient du même nom. Je ne puis citer sûrement qu'un seul endroit qui en renferme, celui où a été pris le morceau que j'ai sous les yeux pour l'examiner. C'est à peu près à une lieue et demie plus au nord que le village où nous sommes, et pas loin de la mer, à quelques minutes seulement. Ici je ferai observer que cet endroit est environné de minerais de fer, de fer oxydé rouge, et des autres oxydes de fer du même genre passant par différents degrés jusqu'à l'état terreux. Je fais cette observation à cause d'une autre que je trouve dans un mémoire de M. Brongniart, au sujet du kaolin : « La présence constante de roches ferrugineuses, dit-il, dans toutes les exploitations du kaolin, depuis la Chine, autant du moins qu'on puisse le présumer d'un gîte si peu connu, jusque dans les gîtes de l'Europe étudiés avec le plus de soin, tend à confirmer cette opinion » que la transformation des roches feldspathiques en kaolin est le résultat des forces électro-chimiques.

J'ai reçu aussi des environs du village où nous sommes, mais d'un autre côté que celui où se trouve le kaolin dont je viens de parler, une pierre qui n'est autre chose qu'un fragment de roche feldspathique qui commence à se décomposer et à se transformer en kaolin ; un côté présente du kaolin encore mal formé, et l'autre met parfaitement à découvert la roche feldspathique. J'ai reçu une abondance de cristaux de quartz, quelques-uns bien formés, la plupart roulés et détériorés ; les Annamites disent ces pierres très-communes, ils les appellent pierres blanches. Quant aux granites, il paraît qu'il y en a beaucoup dans ces régions-ci. Les montagnes près de la mer et celles plus reculées dans l'intérieur des terres ne sont composées que de ces roches-là, ou bien quelquefois de minerais de fer.

Quand j'emploie le mot granite, j'entends ce mot dans un sens très-large, car je veux parler de toute espèce de roches anciennes ou de production ignée, car j'ai eu sous les yeux des échantillons de plusieurs espèces ; j'entre dans quelques détails. Ici, dans la maison, les ouvriers ont un mortier et des pierres à aiguiser ; après avoir examiné plus attentivement ces pierres, j'ai reconnu que ce n'est point là du granite, mais bien plutôt du quartzite, d'une couleur bleu verdâtre ; on y voit scintiller quelques feuillets très-ténus de mica. Un autre échantillon de même couleur à peu près, que j'ai eu à

examiner, n'a pas un grain aussi fin; la cassure présente de petites plaques très-brillantes, et puis j'ai remarqué à la loupe un assez grand nombre d'endroits formant de petites excavations qui ont l'air cariées. Ces deux espèces de pierres, au moins la première, sont connues sous le nom de pierres vertes ou bleues; car le mot *xanh* qu'ils emploient a vulgairement les deux sens.

J'ai reçu un certain nombre d'autres échantillons que j'ai pris pour être du feldspath terreux. La plupart avaient encore une forme cristalline plus ou moins imparfaite, et après avoir examiné et comparé les faces, j'ai cru reconnaître la forme générale du prisme rhomboïdal oblique, qui est celle du feldspath vitreux cristallisé. L'un est d'un blanc un peu grisâtre, renfermant quantité de petits cristaux de quartz; c'est cet échantillon qui m'a le plus servi à la détermination de la forme cristalline. La matière blanchâtre dans laquelle sont empâtés les petits cristaux de quartz est assez dure; car elle résiste passablement à la pointe d'une lame de canif. Les autres échantillons avaient subi déjà une plus grande décomposition. Les uns sont plus ou moins colorés en rouge-brique et en rouge chair, les autres sont jaunâtres avec différentes nuances de cette couleur. Ceux qui sont le plus décomposés ne ressemblent qu'à des agrégats de petits grains de quartz qu'on aurait soudés ensemble avec de la terre, mais avec une terre qui se serait durcie; car malgré leur décomposition plus ou moins avancée, ils ont encore assez de consistance pour ne pas céder à la seule pression de la main, même faisant effort. Il n'y a pas de doute qûe ce ne soit là la matière productrice des kaolins. Ces pierres ont été recueillies dans le voisinage du port qui est près de nous; j'ai reçu en même temps du même endroit un échantillon très-petit, de la grosseur d'une noix à peu près; ce petit fragment m'a paru être soit du gneiss, soit un fragment de roches semblables. Je n'ai pu avoir de ce même endroit d'autres échantillons de ces espèces de roches, mais j'en ai reçu d'un autre lieu un assez grand nombre. Ces derniers ont été recueillis sur les bords de la rivière qui passe près du village où nous sommes; c'est à peu près à la même latitude, mais beaucoup plus à l'ouest, près des montagnes. Du rivage de la mer il y a bien une douzaine de lieues. De ce même endroit on m'avait déjà apporté beaucoup de cristaux de quartz. Parmi, donc, les échantillons en question, il y en a

un, je n'en doute pas, qui est un schiste talqueux : sa structure feuilletée, ses reflets argentins, sa couleur verdâtre, mais par-dessus tout son toucher doux et onctueux, me le font penser. Quant aux autres échantillons, je suis bien plus embarrassé pour les déterminer ; car je ne puis dire si les petites lames brillantes, ordinairement argentines, quelquefois un peu verdâtres, dont ils sont remplis, sont du talc ou du mica; pour mon compte je crois volontiers qu'il y a de l'un et de l'autre. Parfois j'ai remarqué une couleur verdâtre qui m'avait bien l'air d'indiquer de la chlorite. La plupart de ces échantillons n'ont point de forme stratifiée ; je n'ai trouvé que celui de schiste talqueux, dont je viens de parler, pour avoir ce caractère nettement distinct; deux autres le présentent aussi, mais à un degré très-inférieur; le reste ne forme que des masses compactes. La matière dominante que j'ai remarquée dans la plupart de ces pierres est le feldspath ; le quartz y est aussi avec une certaine abondance. Quelques-uns ont une pâte indistincte et qui souvent ne paraît pas homogène dans toutes ses parties ; elles ont assez l'air de roches métamorphiques.

— Je vous dirai en passant que le terrain où nous posons les pieds est un terrain dont la couche supérieure est une marne d'un bleu verdâtre; cette couche est peu épaisse, du moins dans notre jardin, d'un mètre et demi à peu près; plus bas on dit que c'est du sable imbibé d'eau et très-ébouleux, de manière que les Annamites ne peuvent venir à bout de pratiquer un puits un peu profond. Une chose bien certaine, c'est que ce terrain-ci est très-humide et malsain, et c'est d'autant plus désagréable que les maisons sont sans étage ; elles n'ont que le rez-de-chaussée en terre battue, c'est là qu'on habite ; ceci m'écarte de mon sujet, j'y reviens.

J'ai à parler d'un minéral très-important dans les arts et très-abondant dans ce pays-ci, c'est-à-dire que je veux vous entretenir un instant des minerais de fer. Toutes les espèces de fer oxydé rouge, à partir du fer oligiste rouge métalloïde jusqu'aux minerais terreux, se rencontrent avec une fréquence extraordinaire dans cette province-ci ; on m'en a apporté des échantillons de tous les côtés. Les Annamites ne soupçonnent guère que ces substances renferment du fer. Ils ont été bien étonnés d'apprendre qu'en Europe on s'en servait pour en extraire cette espèce de métal. Ils con-

Minerais de fer.

naissent ces substances-là et le minium sous un même nom : *son* ; ils les distinguent ensuite par les épithètes beau, laid, etc., suivant la plus ou moins belle couleur rouge ; seulement le véritable minium est connu sous le nom de *sontàn*, c'est-à-dire *son* apporté par les navires chinois.

Outre ces fers oxydés rouges, j'ai reçu deux autres espèces de minerais du même métal ; ce sont aussi des oxydes : l'un est le fer oligiste métalloïde, et l'autre le fer oxydé hydraté. Tous deux sont à l'état amorphe ; le premier est d'un gris un peu clair, et on trouve souvent dans la cassure des stries rouges. La surface externe des échantillons est ordinairement rougeâtre. La cassure est unie par endroit, ailleurs elle est irrégulière, parfois un peu conchoïdale. J'ai remarqué du quartz associé à cette mine. Les échantillons de la seconde espèce sont mélangés d'argile jaunâtre, la plupart caverneux et comme cariés ; la cassure est très-irrégulière, de couleur bistre, d'un éclat vif. Quelques échantillons renfermaient assez peu d'argile, d'autres en renfermaient en beaucoup plus grande quantité, de sorte que cette mine est moins riche que la précédente ; car la première ne renfermait que très-peu de substances étrangères, je n'ai remarqué qu'un peu de quartz seulement. Bien entendu que mon jugement n'est fondé que sur les échantillons que j'ai eus sous les yeux ; au reste il paraît qu'on les a pris tels qu'on les tire de la terre dans les deux endroits où l'on exploite ces minerais. Tous deux sont exploités dans cette province-ci ; le premier à la latitude 13° 35′ à peu près, et environ à trois lieues de la mer, sur la rive gauche d'une rivière ; le deuxième est situé à peu près vers 14° 12′ de latitude, à côté de la route royale, sur la gauche, en supposant la direction du sud au nord ; c'est peut-être un peu moins loin de la mer que l'endroit précédent. Ce serait ici le lieu de vous parler de la méthode du pays pour extraire le fer de la mine, mais je renvoie cela à un peu plus loin.

Or. J'en viens aux minerais d'or. Il paraît que ce métal précieux se trouve avec fréquence en Cochinchine ; on en tire de toutes les provinces. D'après les renseignements que j'ai obtenus, il paraît qu'on ne connaît pas de filon de ce métal, du moins tout l'or exploité est retiré des sables par lavage ; on le retire tantôt des sables mêmes des rivières et plus souvent des sables qui sont dans leur voisinage. Les grains gros comme un grain de blé sont fréquents. La province d'où l'on en tire le

plus de beaucoup, est celle appelée Quảng-Nam, un peu plus au nord que celle du Binh-Dinh où nous habitons.

Quant aux autres minerais, je ne doute pas qu'il y en ait aussi en Cochinchine, mais ils n'y sont point connus, ou plus exactement ils n'y sont point exploités. Cependant, on rencontre en circulation, dans le royaume, d'autres métaux que ceux dont j'ai parlé; on peut se procurer : argent, cuivre, étain, zinc, etc. ; mais tous ces métaux viennent du Tonquin, où il paraît exister de nombreuses mines exploitées.

Le zinc doit y être en quantité considérable, car cette substance sert à la fabrication de la principale monnaie du royaume, je veux dire des ligatures, dont chacune se compose de 600 petites pièces en zinc attachées ensemble par du rotin, où elles sont enfilées en guise de chapelet. Cette monnaie est de beaucoup la plus répandue dans le commerce; il y en a des masses considérables. J'ajoute en passant qu'elle est fort incommode à cause de son volume et de son poids. Zinc.

Je ne puis pas parler des mines du Tonquin, parce que je suis trop éloigné de cette région pour obtenir sur elle des renseignements exacts. Ici je ferai remarquer qu'il est presque certain qu'il y a un minerai de cuivre dans cette province-ci; Cuivre. car on m'a assuré, et les anciens missionnaires disent aussi, qu'autrefois un village se proposait d'exploiter cette mine qui se trouve sur son terrain, mais qu'un homme prudent et prévoyant l'avait détourné de ce dessein, par la raison que cela aurait été sa perte; car ce village aurait toujours été en but aux vexations des mandarins, soit à cause des travaux à exécuter, soit à cause du tribut à payer; et de fait, selon toute probabilité, il en aurait été ainsi. Maintenant, on ne connaît plus au juste l'endroit de cette mine.

Il y a aussi dans cette province, ou plutôt vis-à-vis de cette province, vers l'Occident, dans les montagnes, peut-être à une douzaine de lieues du rivage de la mer, vers les 14° 24' de latitude, il y a, dis-je, un minerai de zinc; il paraît, d'après les renseignements donnés, que c'est la Calamine. Le roi ayant eu connaissance de ce minerai, a voulu le faire exploiter, mais les mandarins ont trouvé ce pays de montagne si malsain, qu'ils y ont renoncé; ils ont alors rapporté au roi que sa majesté avait été mal informée, qu'il n'y avait rien à l'endroit indiqué. J'espère recevoir dans la suite quelques échantillons de cette

mine; mais comme c'est assez loin et dans un pays sauvage, il n'est pas facile de l'avoir promptement.

Voilà, Messieurs, tout ce que j'ai appris sur la minéralogie et la géologie de ce pays-ci. Avant de vous envoyer cette lettre, peut-être recevrai-je encore quelques autres renseignements; ce sera alors pour moi un nouveau plaisir de vous en faire part sur cette même lettre. Maintenant, je vais vous dire quelques mots sur la métallurgie de l'or et sur celle du fer.

Métallurgie de l'or.

Pour l'or, comme je l'ai déjà dit plus haut, il s'exploite en le séparant des sables où il se trouve disséminé, de sorte que toute la métallurgie de ce métal consiste en de simples lavages, et d'après la description qu'on m'en a faite, ces lavages sont assez imparfaits. Les Annamites n'ont point de tables, ni mouvantes, ni dormantes; ils lavent simplement sur terre, et bien entendu qu'ils ne connaissent pas la méthode d'amalgamation, ou tout au moins ils n'en font point usage. Voici comment les compagnies qui exploitent l'or sont organisées. Chaque compagnie est de 50 hommes, ayant à sa tête un chef responsable; elles doivent fournir chacune la quantité d'or déterminée pour le tribut; et ce tribut est aussi réparti sur chaque individu de la compagnie, de sorte que chaque tête doit fournir sa quote-part au chef, qui à son tour livre la réunion de toutes les parts particulières au mandarin chargé dans ce lieu de percevoir le tribut. Lorsqu'une compagnie se forme, elle prend son autorisation du gouvernement pour exploiter l'or de telle province ou de telle portion de province, et on ne lui impose d'autres conditions que de fournir le tribut déterminé, et ce tribut est le même pour toutes les compagnies, partout, pour chaque individu en particulier, quelle que soit d'ailleurs la richesse des minerais qu'ils exploitent. S'ils rencontrent un minerai riche, tant mieux pour eux, mais aussi tant pis s'ils le rencontrent pauvre. Chaque individu, après avoir payé sa quote-part, peut empocher pour lui le surplus qu'il a trouvé. Précédemment, le tribut avait été augmenté, mais il paraît qu'on le trouvait trop onéreux; l'était-il en effet? je n'en sais rien; ce qu'il y a de certain, c'est qu'on vient de le diminuer. Maintenant, d'après les renseignements que j'ai eus, 10 hommes doivent fournir 1 once du métal en question, cela équivaut à $39^{g},05$, car il s'agit de l'once annamite. Les individus qui entrent dans ces compagnies et autres de la sorte, ont pour

privilége d'être exempts de toute corvée publique, et aussi du service militaire. La seule province de Quảng-Nam renferme un grand nombre de ces compagnies. Les autres provinces en renferment, ou une, ou plusieurs chacune. Dans le Binh-Dinh, je sais qu'il y en a au moins une, je ne sais pas s'il y en a davantage. Le Quảng-Nam a une grande réputation pour ses richesses minérales; on dit qu'il renferme des mines d'un grand nombre de métaux, mais qu'on n'ose point les exploiter. La principale raison est, dit-on, que c'est trop près de la mer, et surtout trop près de Tourane, beau port convoité par les Européens. On craint d'exciter la convoitise de ces derniers et de les attirer dans le royaume pour s'y emparer des mines ouvertes. On ajoute même que c'est pour cette raison qu'il n'y en a aucune d'ouverte en Cochinchine; il n'y a que des lavages de sables aurifères; ceci n'a pas l'air de mine, de sorte qu'aux yeux des Annamites, cette espèce de métallurgie ne les compromet pas aux yeux des Européens. On ne tient pas compte des minerais de fer, qu'on sait bien ne pas être capables de tenter ceux-ci. A ce que j'ai entendu dire dans le Tonquin, les mines sont ouvertes loin de la mer, dans les montagnes vers l'occident, loin de la portée des Européens. J'ai pris des informations pour connaître le nombre des compagnies exploitant l'or, ou bien la somme totale du tribut en or payé au roi, mais je n'ai rien pu obtenir de satisfaisant sur ce sujet.

Métallurgie de fer.

Avant de parler de la métallurgie du fer, il faut que je dise un mot de l'exploitation et de la préparation du minerai. Les Annamites ne font pas de puits d'extraction très-profonds; l'abondance des minerais non loin de la surface de la terre les en exempte. Ils ne se servent que du minerai de première qualité ou à peu près. Quand la mine est détériorée au point de n'avoir plus l'éclat métallique, ils disent que c'est un minerai mort, il ne peut plus servir, on le rejette. Lorsqu'un minerai, quoique mélangé d'un peu de terre, conserve pourtant l'éclat métallique, alors ce minerai passe encore pour bon, on le lave, puis on le soumet au grillage. Pour les autres minerais, ils n'ont pas besoin d'être lavés, parce qu'ils sont très-purs; on se contente seulement de les griller. Cette opération du grillage s'exécute dans des fours fort simples. Les Annamites élèvent quatre murs en terre à peu près de $1^{m},20$ de haut sur une longueur et une largeur égales. Il y a dans le bas trois petites portes pour donner l'air à l'intérieur; elles sont dans

trois faces différentes. Lorsque le four est chargé de minerai et de combustible, puis que le feu est bien allumé, on recouvre de terre la partie supérieure, et on abandonne le four à lui-même ; seulement on ajoute de temps en temps de la terre par-dessus, lorsque la flamme tend à sortir. Cette opération dure de un jour et demi à trois jours, selon qu'on est plus ou moins pressé. Après le grillage, le minerai est réduit en petits fragments, dont les plus gros sont à peu près comme des grains de blé de Turquie ; cela fait, le minerai est préparé. Le fourneau qui sert ensuite à traiter ce minerai n'est pas de grande dimension, car on ne charge parfois que $0^{mc},15$ environ de mine ; mais pour vous donner une idée plus exacte, je vais vous donner tant mal que bien la figure de ce fourneau. Nous avons ici dans la maison le fils d'un forgeron occupé à extraire le fer de la mine ; le fils lui-même a travaillé à cette opération, de sorte qu'il a pu me donner des renseignements exacts ; et pour que je puisse mieux comprendre, il a fabriqué en terre, dans le jardin, un four semblable à ceux dont on se sert pour l'espèce de métallurgie en question.

La *fig.* 1, Pl. XI, présente la vue générale du four lorsqu'on est devant la porte P, et cette forme est à très-peu près celle d'un fauteuil (*fig.* 2). Le tout est en argile, à l'exception de la cavité inférieure, qui est muraillée de tous côtés et recouverte par de larges pierres granitiques. Au-dessus de cette cavité se trouve le creuset EFG, dans lequel s'opèrent les réactions. Comme l'indique la figure, la cavité est un peu enfoncée dans la terre.

Je ferai observer que les mesures données ici ne sont point absolument strictes, parce que personne n'en a de fixes (1).

La *fig.* 2, Pl. XI, est une coupe verticale passant par AB ; elle partage le four en deux parties symétriques. IK représente l'ouverture où s'introduit la tuyère ; comme vous voyez, elle n'a

---

(1) Le massif MIK (*fig.* 2, Pl. XI) ne sert à autre chose qu'à préserver du feu la soufflerie qui se trouve très-rapprochée et vers le point S. Elle consiste en deux tubes en bois liés ensemble ; ils ont $1^{m},40$ de haut, et l'intérieur peut avoir 0.25 de diamètre. On fait jouer des pistons dans ces tubes. Dans le bas se trouvent les ouvertures pour laisser passage au vent et pour entrer et pour sortir, car il n'y a aucune soupape. La buse qui entre en I est beaucoup plus petite que cette ouverture et pénètre très-peu dans l'intérieur, de sorte que l'air de dehors peut communiquer avec l'ouverture de la buse même. Un seul homme fait jouer les deux pistons, il en tient un à chaque main. Cependant, souvent il y a deux hommes pour cela. Vous voyez que cette soufflerie est assez imparfaite, mais qu'il faudrait peu pour l'améliorer beaucoup.

aucune inclinaison. Au fond du creuset se trouve une petite ouverture F par laquelle s'écoulent les scories. Lorsque cette ouverture vient à se boucher, on la débouche alors en introduisant par la porte P un fer recourbé qui peut pénétrer dans cette petite ouverture.

Quelquefois les Annamites font un creuset un peu différent de celui qui est représenté ici; il a une coupe horizontale plus ou moins elliptique; le grand axe est alors de $0^m,62$, et le petit de $0^m,42$. Dans ce cas, il y a d'ailleurs deux souffleries et deux tuyères.

La *fig.* 3, Pl. XI, est aussi une coupe verticale, mais perpendiculaire à la précédente (*fig.* 2); elle divise parallèlement le fourneau en deux parties égales.

Une opération dure de deux à trois heures, suivant que les ouvriers sont plus ou moins habiles; lorsqu'ils ont enlevé du creuset le massé, ils lui donnent quelques coups avec un maillet en bois : c'est, dit-on, pour le ramasser mieux; puis ils le battent avec un marteau en fer. On m'a dit que pendant tout ce battage il ne sortait aucune scorie; ce n'est pas étonnant puisqu'ils obtiennent du minerai de fer. Le battage s'opère à bras; les Annamites ne connaissent pas les marteaux mis en jeu par une roue hydraulique, et d'ailleurs ils se garderaient bien de battre si fortement leur massé, dans la crainte d'en perdre quelque chose; ils ont soin au contraire de bien tout ramasser.

—Je reviens sur le kaolin dont j'ai parlé précédemment. J'en ai reçu de nouveaux échantillons pris dans les environs de l'endroit où avait été pris le premier échantillon. C'est le même kaolin, seulement cette fois-ci j'ai remarqué quelques petites parcelles argentines de mica que je n'avais pas remarquées d'abord, et de plus j'ai appris que les Chinois achetaient en quantité de cette terre blanche, comme l'appellent les Annamites. Avant de la vendre, les Annamites la soumettent à une lévigation plus ou moins soignée, pour en séparer les petits cailloux dont elle est remplie; les Chinois l'emportent ainsi préparée dans leur Empire céleste. Des environs du même endroit on m'a encore apporté d'autres échantillons d'argiles; mais celles-ci n'ont pas le même degré de pureté que la précédente. L'une est d'un blanc encore passable, cependant ce n'est point ce beau blanc du kaolin précédent; le quartz s'y trouve aussi en plus petits fragments, et peut-être aussi en moindre abondance. Une autre argile passe encore à un degré

inférieur; celle-ci n'est que grisâtre, elle est plus friable, le quartz y est pareillement en très-petits fragments, et peut-être aussi en moindre abondance. Je n'ai remarqué aucune effervescence avec les acides pour aucune de ces trois espèces; il n'y a que le phénomène que j'ai observé en délayant dans l'eau la première espèce; ce sont probablement des bulles d'air renfermées dans la matière, lesquelles se trouvant libres s'élèvent au-dessus de l'eau; la deuxième espèce produit le même phénomène.

Nous venons de recevoir des lettres de nos confrères qui sont chez les sauvages; ils nous donnent grand nombre de renseignements; mais comme cela n'est point encore assez complet et qu'il y a encore une foule de choses plus ou moins vagues, je m'abstiens d'en parler cette fois-ci.

18 décembre 1851.

Deuxième lettre.

Binh-Dinh, en Cochinchine,
9 octobre 1853.

Messieurs,

Dans la première lettre que j'ai eu l'honneur de vous adresser peu de temps après mon arrivée en Cochinchine, je vous disais que, peut-être, dans la suite je recevrais de la province de Quảng-Nam un minéral que les Annamites disent renfermer du zinc. En effet, je viens de recevoir des échantillons d'un silicate de zinc. Que ce soit un silicate, j'en suis assuré par plusieurs expériences, dont l'une m'a valu la fusion du creuset en platine que je venais de recevoir, il y a seulement quelques mois; je me suis rappelé trop tard que le silicate de zinc, en contact avec le charbon, se réduit et donne du zinc qui attaque le platine. Ce zinc silicaté est à l'état lamelleux : ce sont des tables minces, larges, appliquées les unes sur les autres, parfois fort irrégulièrement. Leur couleur générale est le vert bleuâtre; quelques endroits sont gris; sur les faces élevées, on aperçoit souvent une couleur rougeâtre; la première donne une couleur verte un peu plus prononcée que celle de l'échantillon en masse. Il raye facilement le verre, mais se laisse rayer par une pointe d'acier. Je ne parle pas de la densité, car je n'ai absolument rien pour la déterminer; je n'ai pas même une petite balance ordinaire. Chauffé dans le tube, il n'a pas donné d'eau. Au chalumeau, il n'a fait que changer

un peu de couleur, il est devenu grisâtre; je n'ai pas remarqué autre chose. Avec le borax, il ne m'a donné qu'un verre incolore. Je dois confesser ici mon inexpérience dans l'usage du chalumeau, et d'ailleurs quel est mon chalumeau? un simple tube de bambou, armé d'un étui de plume en guise de bec; j'ai perforé d'une très-petite ouverture cet étui avec une aiguille a coudre.

J'ai reçu en même temps que le zinc silicaté un autre minéral de couleur noire que les Annamites appellent *pierre-charbon*. Il offre quelques parties lamellaires et même lamelleuses, mais il est beaucoup plus souvent à l'état granitoïde et terreux ; il tache les doigts ; on enlève très-facilement de petites lames dans les parties lamelleuses : je n'ai pas remarqué plus de trois clivages faciles; deux de ces clivages m'ont paru à l'œil nu et à la loupe se couper à angles droits ; pour le troisième, il est sensiblement incliné sur les deux autres; je n'ai aucun instrument pour déterminer les angles exactement. La cassure à travers les cristaux est conchoïdale, mais d'un éclat vitreux très-vif. Dans la masse granitoïde et terreuse, on aperçoit aussi une infinité de points d'un éclat vitreux très-vif. De temps en temps, on remarque des endroits irisés qui ont des reflets comparables à ceux des gemmes précieuses; j'ai remarqué surtout trois superbes couleurs : rouge améthyste, bleu de ciel et jaune de topaze. La poussière est noire comme l'échantillon en masse; elle est entremêlée de points très-brillants. Le noir n'est pas parfait; il a une légère nuance brune. Les cristaux obtenus par le clivage sont assez durs, mais ne rayent pas le verre; je n'ai pas de substance pour déterminer exactement leur dureté. Au feu, ce minéral décrépite fortement; au chalumeau, il n'a pas éprouvé de fusion, mais il s'est recouvert d'une poussière blanchâtre. Chauffé dans le tube, il a donné une grande proportion d'eau et a dégagé une légère odeur sulfureuse. Après un grillage préalable, la poussière, traitée par l'acide hydrochlorique, a mis en liberté un léger nuage de matière gélatineuse, sans doute de la silice. Je ne sais si l'acide muriatique a attaqué la poussière elle-même, car j'ai ajouté presque de suite de l'acide nitrique pour faire marcher plus vite l'opération; j'ai obtenu ainsi un chlorure soluble, et la dissolution a été incolore : j'ai plongé dans la liqueur la lame de mon couteau, il n'en est rien résulté; j'y ai plongé ensuite un morceau de zinc, pas plus de

résultat qu'avec le fer. Avec le carbonate de soude, j'ai obtenu un précipité blanc, et cette couleur a été permanente; j'ai obtenu le même précipité avec la potasse caustique, mais ce précipité s'est redissous dans un excès d'alcali. Je n'ai pas produit d'autres réactions, parce que je n'ai pas d'autre réactif, et d'ailleurs c'était inutile, puisque, d'après tous les indices que je viens de donner, il résulte assez clairement que la pierre-charbon des Annamites est la blende ou zinc sulfuré.

Voici ce que l'on m'a dit de l'endroit d'où l'on a extrait ces minéraux:

La montagne qui contient la pierre à zinc (silicate) est assez grande et élevée; la mine est mêlée par moitié d'autres pierres. Cette montagne est située à peu près à la latitude de la ville, chef-lieu de la province, plutôt cependant au nord qu'au sud, et à 18 lieues environ de la mer. La pierre noire (sulfure) est tirée d'une montagne un peu plus petite, située à Nông-sôn, latitude un peu sud de la ville, chef-lieu, à 15 ou 16 lieues de la mer; les deux endroits appartiennent à une même chaîne de montagnes, laquelle s'étend sur les bords de la rivière qui arrive au chef-lieu de la province, et qui de là coule en partie par un canal à Touranne, et en partie au grand port au sud de Touranne. Ces mines sont inexploitées.

Il est très-probable que cette chaîne de montagnes renferme d'autres minéraux métallifères, soit du même métal encore, soit aussi du plomb et de l'argent, comme vous le concevez vous-mêmes mieux que moi. Un pareil gîte métallifère devient intéressant; aussi je ferai tout ce que je pourrai pour en obtenir d'autres minéraux extraits sur différents points de ces montagnes; et selon que les circonstances me le permettront, j'en ferai la reconnaissance pour vous en faire part comme de coutume, toujours heureux de pouvoir vous offrir ainsi, messieurs, un faible gage d'affection et de reconnaissance.

Actuellement que je me trouve relégué dans un réduit obscur comme dans une étroite prison, par suite de la persécution; je vais mettre à profit les quelques loisirs qui me sont donnés pour vous dire un mot de la métallurgie des sauvages à l'ouest de ce royaume. Toute leur métallurgie se réduit à faire des lavages d'or et à fabriquer du fer.

Lavage de l'or chez les sauvages.

Les lavages d'or se font au moyen de sébilles circulaires de 50 centimètres de diamètre sur 10 de profondeur au milieu;

elles sont d'un seul bloc de bois ; une coupe verticale donne cette figure-ci : ⌣. Les sauvages exécutent ces lavages pendant deux ou trois mois par an, lorsque les eaux sont basses. Ils puisent le sable au milieu de la rivière, aux endroits où il se trouve des roches dépassant le niveau de l'eau. Ils disent avoir trouvé parfois d'assez gros grains, mais je n'en ai pas vu ; je n'ai vu que de petites paillettes. Tout l'or des sauvages passe chez les Laociens ; il sert uniquement à acheter des buffles : le prix d'un buffle revient à peu près à 80 francs, prix de l'or en France : pour ces pays-ci, c'est excessivement cher. Du Laos, l'or passe sous le titre de tribut au roi de Siam. J'ai vu quelques rivières où l'on exécute des lavages d'or, mais il en est bien d'autres où je n'ai pas été.

Traitement du fer chez les sauvages Cédans.

Le traitement de la mine de fer se fait seulement dans la tribu des Cédans; du moins, je ne connais pas d'autre tribu qui s'adonne à cet art.

Les autres sauvages tirent leur fer, soit des Cédans, soit des Annamites, soit aussi des Laociens et des Cambogiens, suivant le plus ou moins de proximité.

Je donne ici un croquis très-imparfait d'une usine à fer des Cédans ; ce n'est qu'un brouillon ; car mon réduit est si peu éclairé, que j'y vois à peine assez pour écrire ; je l'envoie tel quel, comptant sur votre indulgence.

La plus grande partie des villages cédans connus travaillent pendant deux à trois mois par an à traiter la mine de fer. Je n'ai pu voir de leur minerai ; seulement, je sais qu'après l'avoir extrait, ils le pilent et le lavent. Dans un village Bannar, voisin des Cédans, j'ai vu de l'oxyde de fer hydraté amorphe. Les Bannars me disaient que, dans leurs montagnes, il ne manque pas non plus de mines de fer; qu'ils n'en extraient pas ce métal, parce que ce n'est pas l'usage chez eux; l'usage, *ultima ratio* dans ces pays-ci.

Les *fig.* 4, 5 et 6, Pl. XI, représentent une usine à fer chez les sauvages Cédans.

Le massif A renferme la soufflerie ; il est en terre reliée avec du bambou. La soufflerie se compose de deux gros bois ronds R R, creux à leur partie supérieure : le dessus de chacun de ces cylindres est recouvert par une peau de daim surmontée d'une poignée MM. Le vent est conduit par deux tubes en terre TT réunis par un troisième, qui amène en définitif le vent au creuset C. Cette tuyère est très-inclinée, de 45° environ. Un sauvage,

accroupi au-dessus de ce massif, fait jouer la soufflerie par un mouvement successif d'ascension et d'affaissement qu'il imprime aux peaux de daim.

Le creuset C n'a rien de remarquable; c'est seulement un petit creux pratiqué dans le sol.

B est un deuxième massif qui sert, je présume, à charger le charbon; je n'ai pas vu les forges en activité: D en est la face antérieure donnant sur le creuset et servant comme de contre-vent.

Voyez la coupe verticale suivant EF qui est représentée *fig.* 5; ce plan divise en deux les deux massifs et le creuset. La *fig.* 6 est une coupe verticale suivant GH.

La *fig.* 8, Pl. XI, représente le marteau M et son enclume. La tête du marteau est un bloc de granite qui ressemble assez à un pavé de Paris; un manche lui est attaché avec du rotin. L'enclume est un autre bloc granitique plus gros.

Toutes les forges que j'ai eu occasion de voir sont semblables; elles sont toutes situées sur un terrain en pente. Le deuxième massif est appuyé contre le terrain creusé de manière à mettre le sol de la forge de niveau. Un même bâtiment renferme un grand nombre de fourneaux comme celui que je viens de décrire.

— Le charbon est cuit dans de petites fosses pratiquées dans la terre au milieu des forêts. Les sauvages font surtout ce travail lorsque, après avoir abattu un coin de la forêt, ils mettent le feu à cet abatis pour y ensemencer ensuite leur riz.

Le fer est généralement fabriqué sous la forme de petites piochettes, dont le taillant, à leur partie inférieure, a moyennement 6 centimètres de large; c'est un des instruments les plus répandus chez les sauvages, qui s'en servent pour piocher leurs champs de riz, et aussi en guise de haches pour couper les gros bois; pour cela, il suffit d'arranger un peu autrement le manche. Ils fabriquent aussi beaucoup de couteaux de différentes grosseurs, des serpes, des sabres et des fers de lance.

Les sauvages qui ne traitent pas la mine ont aussi leur petite forge pour fabriquer leurs instruments. Cette forge consiste en deux tubes de bambou de 1 mètre de hauteur avec pistons pour soufflet et un gros caillou leur sert d'enclume. Ils ont des marteaux en fer, mais emmanchés comme le gros marteau en pierre décrit ci-dessus. Les pistons de la soufflerie sont garnis avec une espèce d'écorce d'arbre assez moelleuse. Le jeu de ces soufflets

est le même que celui que j'ai décrit autrefois pour la forge annamite dans une lettre précédente : il n'y a pas de soupape.

Je devais accompagner cette lettre d'un croquis de carte des régions que j'ai parcourues chez les sauvages, comme je vous l'ai promis dans une lettre précédente, mais je ne sais pas encore si je pourrai cette fois-ci exécuter cette promesse, malgré toute la bonne volonté que j'ai de la mettre à exécution ; nous sommes tellement traqués par les mandarins, que nous n'avons presque pas un instant de répit, toujours obligés de courir d'une tanière à une autre. Souvent il m'arrive de n'avoir autre chose avec moi que mon seul bréviaire. Tous mes effets sont éparpillés de côté et d'autre, et même la plus grande partie se trouve dans des maisons de païens, qui, toutefois, ne supposent guère ce que renferment les caisses qu'ils ont en dépôt.

Sur l'importation et l'exportation du fer en Angleterre pendant l'année 1852.

Les documents publiés en 1854 par ordre de la chambre des communes font connaître avec détail quelles sont les quantités de fer qui ont été importées ou exportées en Angleterre pendant les années 1851 et 1852. La grande importance de l'industrie du fer en Angleterre nous engage à insérer dans les *Annales des mines* ceux de ces tableaux qui sont relatifs à l'année 1852.

Ces tableaux sont au nombre de quatre:

— Le tableau n° I donne le fer étranger importé en Angleterre en 1852 : il comprend non-seulement le fer, la fonte et l'acier, mais encore les minerais de fer et le fer chrômé.

Le fer et l'acier travaillés ne sont d'ailleurs pas estimés d'après leur poids, mais d'après leur valeur déclarée en douane.

Les colonnes horizontales font connaître quelle est la quantité importée par chaque pays.

— Le tableau n° II donne les quantités de fer étranger réexportées d'Angleterre.

— Le tableau n° III donne le nombre de tonnes de fer, de fonte et d'acier non travaillés qui ont été produites en Angleterre et exportées en 1852.

— Le tableau n° IV donne le poids en tonnes, ainsi que la valeur en livres sterling pour le fer travaillé ou pour la quincaillerie anglaise, qui a été exportée en 1852.

(Voir ces tableaux pages suivantes.)

FER ÉTRANGER IMPORTÉ ET EXPORTÉ PAR L'ANGLETERRE PENDANT L'ANNÉE 1852.

TABLEAU N° I. — *Fer étranger importé en Angleterre.*

CONTRÉES dans lesquelles il est importé.	MINERAI de fer.	FER chromé.	FONTE en gueuse.	FER en barres et non travaillé.	FER fin.	FER fondu ou martelé.	DÉBRIS de vieille fonte.	CERCLES de fer.	FONTE moulée	ACIER brut.	ACIER en masiaux.	FER ET ACIER façonnés. — Valeur déclarée.
	tonn. cwt.	tonnes. cwt.	ton. cwt.	tonnes. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.	tonn. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.	liv. sterl. s. d.
Russie	»	77 9	6 2	1.791 10	16 10	26 6	31 9	0 3	»	6 14	»	30 18 0
Suède	»	»	»	31.105 1	490 4	»	13 9	»	»	483 11	31 10	10 1 4
Norwége	»	145 0	1 0	187 2	245 13	»	7 17	»	0 9	»	»	15 2 0
Danemark	»	»	»	225 1	»	»	0 9	»	0 2	0 16	»	259 5 0
Prusse	»	»	»	»	»	22 6	2 0	»	»	»	»	24 18 0
Villes anséatiques	0 5	»	»	0 15	»	»	59 6	»	1 8	8 18	6 3	1.154 15 10
Hollande	0 10	»	5 17	9 11	»	»	60 17	»	2 10	11 10	13 0	3.087 15 0
Belgique	»	»	15 0	10 0	6 10	»	0 14	»	»	1 17	»	3.464 10 9
Iles du détroit	»	»	35 0	0 4	»	»	464 7	»	0 2	»	»	28 15 0
France	»	»	»	»	»	»	0 9	»	22 17	1 0	34 10	19,860 0 6
Portugal	»	»	»	»	»	32 10	0 15	»	»	14 10	»	»
Espagne	255 3	»	24 0	40 1	»	»	0 15	»	»	»	»	73 0 0
Italie	»	»	»	»	»	»	1 10	»	»	13 15	»	30 7 6
Turquie	»	1.498 18	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Egypte	»	»	»	»	»	»	1 5	»	»	»	»	24 10 0
Colonies anglaises du sud de l'Afrique	»	»	»	»	»	»	5 19	»	»	»	»	12 2 0
Sainte-Hélène	»	»	»	»	»	»	14 0	»	»	»	»	»
Colonies angl. des Indes orientales	»	»	71 4	1 0	»	»	146 15	»	»	»	»	11 15 0
Chine et Hong-Kong	»	»	370 15	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Colonies anglaises en Australie	0 3	»	72 15	»	»	»	22 16	»	1 10	0 5	»	60 12 6
Colonies anglaises dans les Indes occidentales	1 0	»	63 5	3 15	129 7	»	3 18	»	0 2	»	»	18 10 0
Guyane anglaise	»	»	2	»	»	»	19 14	»	0 11	»	»	23 0 0
Etats-Unis d'Amérique	0 10	204 3	50	»	»	»	»	»	0 19	3 16	175 4	215 15 0
Pérou	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	20 0 0
Pays divers	»	»	»	1 9	»	»	8 7	»	»	0 3	»	6 17 6
Quantités totales importées	257 11	1.925 10	715 18	33.375 19	888 4	81 2	867 6	0 3	30 10	547 18	260 7	28.452 10 11

TABLEAU N° II. — *Fer étranger réexporté par l'Angleterre.*

CONTRÉES dans lesquelles il est exporté.	MINERAI de fer.	FER chromé.	FONTE en gueuse.	FER en barres et non travaillé.	FER fin.	FER fondu ou martelé.	DÉBRIS de vieille fonte.	CERCLES de fer.	FONTE moulée.	ACIER brut.	ACIER en massiaux.	FER ET ACIER façonnés. — Valeur déclarée.
	ton. cwt	tonnes. cwt.	ton. cwt.	tonnes. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.	tonn. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.	liv. sterl. s. d.
Danemark	»	»	»	»	»	»	4 10	»	»	»	»	250 0 0
Villes anséatiques	»	5 10	»	»	»	»	»	»	»	0 12	»	90 0 0
Hollande	53 2	»	200 0	»	»	»	»	»	»	»	»	20 0 0
France	»	8 0	1 0	174 5	»	»	»	»	»	»	»	20 0 0
Portugal et Açores	»	»	»	3 2	»	»	»	»	»	29 0	»	52 0 0
Espagne et Canaries	»	»	»	15 0	»	»	»	»	»	5 0	»	30 5 0
Gibraltar	»	»	»	206 0	»	»	»	»	»	»	»	»
Italie	»	»	»	141 5	»	»	»	»	»	32 0	»	10 0 0
Malte	»	»	»	60 0	»	»	»	»	»	»	»	»
Grèce	»	»	8 3	69 3	»	»	»	»	»	»	»	»
Turquie	»	»	»	21 0	»	»	»	»	»	»	»	145 0 0
Maroc	»	»	»	199 0	»	»	»	»	»	11 5	»	433 0 0
Côtes occidentales de l'Afrique	»	»	»	61 10	»	»	»	»	»	»	»	40 0 0
Possessions angl. du sud de l'Afrique	»	»	»	134 5	»	»	»	»	»	»	»	95 0 0
Maurice	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	169 0 0
Possessions angl. des Indes orientales	»	»	»	2.681 19	»	1 0	»	»	»	453 4	»	1.640 0 0
Java	»	»	»	190 8	»	»	»	»	»	»	»	»
Chine	»	»	»	»	»	»	»	»	»	45 0	»	23 0 0
Établissements anglais de l'Australie	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	346 0 0
Colonies angl. de l'Amérique du Nord	»	»	»	167 11	»	»	»	»	»	»	»	»
Indes occidentales et Guyane anglaises	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	353 2 0
États-Unis d'Amérique	»	»	»	1.598 18	»	»	»	»	»	35 17	»	326 5 0
Amérique centrale	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2 14	»	157 12 0
Nouvelle-Grenade	»	»	»	4 5	»	»	»	»	»	5 14	»	620 0 0
Brésil	»	»	»	25 14	»	»	»	»	»	6 13	»	167 0 0
République orientale de l'Uruguay	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	340 0 0
Buénos-Ayres	»	»	»	»	»	»	»	»	»	11 9	»	»
Autres lieux	»	»	»	19 13	»	»	»	»	»	»	»	338 0 0
Quantités totales exportées	53 2	13 10	209 3	5.773 18	»	1 0	4 10	»	»	638 8	»	5.635 4 0

TABLEAU N° III. — *Fer, fonte et acier anglais exportés d'Angleterre dans l'année* 1852.

CONTRÉES dans lesquelles l'exportation a eu lieu.	FONTE en gueuses.	FER en barres.	FER en verges.	FONTE moulée	FIL de fer.	FER TRAVAILLÉ. Ancres.	Cercles.	Clous.	Variétés diverses (excepté celles de l'ordonnance).	VIEUX fer.	ACIER non travaillé.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Russie	1.106	4.145	114	855	318	227	12	141	563	65	487
Suède	372	152	7	139	3	155	»	»	170	»	18
Norwége	1.733	2.525	547	257	25	597	92	13	886	31	33
Danemark	14.445	3.909	842	499	76	365	844	25	1.053	198	66
Prusse	16.793	13.519	123	814	6	86	29	41	2.673	5.203	143
Mecklembourg	200	637	95	6	7	105	99	1	125	»	6
Hanovre	8.970	15.351	1.480	24	179	107	426	26	2.860	634	18
Oldembourg	4.337	963	172	»	»	2	30	»	857	»	1
Villes anséatiques	12.430	12.542	1.444	817	518	1.100	1.512	49	6.421	1.476	1.163
Hollande	23.117	7.324	329	9,039	167	1.218	1.421	137	7.027	33	586
Belgique	200	29	»	343	544	25	»	»	121	273	680
Iles	110	550	102	214	4	125	36	121	223	»	13
France	20.195	425	166	11	23	268	253	3	667	200	114
Portugal, Açores et Madère	803	3.784	2.236	186	26	79	1.549	64	763	»	8
Espagne et Canaries	3.481	12.452	61	5.109	357	594	1.319	131	3.534	144	97
Gibraltar	135	141	17	35	2	138	51	25	25	25	2
Italie	7.929	27.279	2.797	4.628	313	991	2.624	196	3.504	2.505	387
Malte	36	186	69	204	2	100	124	8	108	»	3
Iles Ioniennes	»	163	4	2	»	1	42	3	24	»	»
Grèce	»	70	53	4	1	14	25	3	35	»	»
Turquie	218	3.558	1.222	11	10	339	153	76	818	»	8
Valachie et Moldavie	»	1.495	14	1	»	2	282	54	199	»	»
Syrie et Palestine	»	123	56	9	1	19	4	1	30	»	»
Egypte	30	11.971	96	11.062	33	24	35	6	2.020	»	1
Algérie	125	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Maroc	»	33	»	»	7	»	15	3	1	»	1
Côte occidentale de l'Afrique	20	1.128	15	870	1	5	411	37	109	»	»
A reporter	110.785	124.464	12.061	34.629	2.628	4.606	11.408	1.274	34.516	10.787	3.875

Suite du TABLEAU N° III.

CONTRÉES dans lesquelles l'exportation a eu lieu.	FONTE en gueuses.	FER en barres.	FER en verges.	FONTE moulée	FIL de fer.	FER TRAVAILLÉ. Ancres.	Cercles.	Clous.	Variétés diverses (excepté celles de l'ordonnance).	VIEUX fer.	ACIER non travaillé.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Report	116.785	124.454	12.061	34.629	2.623	4.696	11.408	1.274	34.516	10.787	3.875
Possessions anglaises du sud de l'Afrique	50	1.217	48	455	5	149	266	101	499	»	9
Côte orientale de l'Afrique	»	»	»	4	»	»	»	»	2	»	»
Iles du cap Vert	»	»	1	2	»	4	1	»	1	»	»
Sainte-Hélène et l'Ascension	»	4	»	»	»	»	1	1	11	»	»
Maurice	11	407	21	426	2	51	82	113	341	»	2
Possessions anglaises des Indes orientales	1.401	17,118	2.084	1.126	169	747	2.239	259	3.285	»	249
Java	20	626	234	193	»	38	32	2	94	»	41
Iles Philippines	55	53	89	7	»	3	»	2	8	»	2
Chine (comprenant Hong-Kong)	398	187	1.851	10	92	9	236	9	48	»	1
Etablissements anglais de l'Australie	2.724	4.696	93	1.848	200	269	477	1.436	2.193	»	92
Iles de la mer du Sud	»	5	2	»	»	3	»	1	4	»	»
Colonies anglaises du nord de l'Amérique	12.962	51.979	344	8.209	199	2.675	1.183	1.628	6.028	27	530
Indes occidentales anglaises et Guinée anglaise	101	1.774	36	2.693	24	54	625	825	1.206	5	8
Indes occidentales étrangères	170	2.855	127	2.881	12	131	317	571	1.546	100	22
Etats-Unis d'Amérique	104.230	334.224	1.439	3.979	1.787	5.465	7.936	590	25.574	5.147	10.787
Mexique	»	391	»	34	9	16	10	23	79	»	13
Amérique centrale	»	46	6	71	»	2	3	25	138	»	3
Nouvelle-Grenade	»	671	»	75	1	3	4	31	67	»	3
Venezuela	105	131	3	153	1	3	87	37	54	1	»
Brésil	956	3.664	192	3.729	2	163	263	340	1.852	278	125
République orientale de l'Uruguay	16	572	5	292	28	19	148	114	136	»	4
Buenos-Ayres	20	950	60	349	108	96	255	49	214	»	9
Chili	447	1.978	»	246	3	51	95	54	420	3	60
Pérou	40	981	»	441	6	13	31	18	338	»	18
Iles Falkland	»	13	»	3	»	1	»	6	11	»	»
Totaux	240.491	548.996	18.696	61.865	5.271	16.661	25.679	7 399	78.665	16.348	15.813

TABLEAU N° IV. — *Quincaillerie anglaise exportée en 1852.*

CONTRÉES dans lesquelles l'exportation a eu lieu.	QUINCAILLERIE et coutellerie anglaise.		
	Quantité.		Valeur déclarée.
	tonn.	qx.	liv. st.
Russie	577	7	71.429
Suède	57	3	7.611
Norwége	121	12	12.662
Danemark	153	11	17.211
Prusse	73	11	9.200
Mecklenbourg	1	11	96
Hanovre	14	13	1.692
Oldembourg	0	3	10
Villes anséatiques	1.376	15	176.604
Hollande	395	2	55.778
Belgique	263	15	37.876
Iles du détroit	268	13	23.475
France	493	0	95.492
Portugal, Açores et Madère	168	2	21.285
Espagne et Canaries	414	5	49.774
Gibraltar	47	17	6.701
Italie	522	17	59.173
Malte	37	9	5.043
Iles Ioniennes	13	7	1.210
Grèce	12	11	1.183
Turquie	171	11	23.545
Valachie et Moldavie	18	16	1.265
Syrie et Palestine	15	11	1.004
Égypte	77	13	16.375
Algérie	8	13	700
Maroc	351	16	29.704
Côte occidentale de l'Afrique	477	1	47.960
Possessions anglaises du sud de l'Afrique	0	2	21
Côte orientale de l'Afrique	3	16	206
Iles du cap Vert	4	16	585
Sainte-Hélène et l'Ascension	75	12	7.172
Maurice	861	13	98.488
Possessions anglaises des Indes occidentales	96	10	8.429
Java	30	7	2.612
Iles Philippines	39	4	10.811
Chine, comprenant Hong Kong	1.989	6	192.443
Établissements anglais de l'Australie	9	3	1.018
Iles de la mer du Sud	1.594	18	143.357
Colonies anglaises au nord de l'Amérique	774	7	56.535
Indes occidentales anglaises et Guinée anglaise	1.755	9	104.161
Indes occidentales étrangères	7.855	16	968.492
États-Unis d'Amérique	205	0	22.791
Mexique	119	4	12.342
Amérique centrale	192	7	18.432
Nouvelle-Grenade	266	16	18.459
Venezuela	14	2	793
Brésil	1.345	8	104.129
République orientale de l'Uruguay	459	14	31.698
Buenos-Ayres	337	18	22.705
Chili	663	7	48.212
Pérou	462	9	39.498
Iles Falkland	3	2	246
Totaux	25.289	11	2.691.697

Lorsqu'on compare les tableaux de l'importation et de l'exportation du fer en Angleterre en 1851 avec ceux de 1852, on constate qu'à l'importation, il y a pour cette dernière année une différence en moins de 55 p. 100 sur le minerai de fer, de 40 p. 100 sur le fer en massiaux, de 16 p. 100 sur le fer en barres, de 70 p. 100 sur la fonte moulée, de 48 p. 100 sur l'acier brut et de 40 p. 100 sur l'acier ouvré.

La Suède fournissait à l'Angleterre, en 1851, 35.477 quintaux de fer en barres et pour une valeur de 2.365 liv. st. d'acier ouvré; ces chiffres se sont trouvés respectivement réduits en 1852 à 51.105 quintaux et à 18 liv. st.

La réexportation qui est donnée par le tableau n° II porte principalement sur le fer et sur l'acier brut; elle a subi en 1852 une diminution égale à celle que l'on remarque à l'importation.

En ce qui concerne, d'un autre côté, les tableaux n° III et IV qui présentent les quantités de fer anglais expédiées à l'étranger, la comparaison des totaux appartenant à chacun des articles de cette exportation en 1851 et 1852 permet de constater une augmentation moyenne de 24 p. 100 en faveur de cette dernière année; en 1852, en effet, il est sorti des ports anglais 1.145.884 tonnes de fonte de fer en barres, de fer travaillé, d'acier brut, tandis que l'ensemble correspondant de 1851 ne dépassait pas 919.479 tonnes. Le progrès a principalement porté sur la fonte moulée (61.865 tonnes en 1852 contre 24.128 en 1851), la fonte brute (240.401 tonnes contre 201.264), le fer en barres (517.327 tonnes contre 548.996) et l'acier brut (15.813 tonnes contre 11.801). On constate au contraire une légère diminution dans les cercles de fer, les clous, etc.

La France a demandé à l'Angleterre en 1852, 22.211 tonnes de fonte, de fer et d'acier, c'est-à-dire 7.550 tonnes de plus que l'année précédente.

C'est dans les États-Unis que les fers anglais trouvent d'ailleurs le débouché le plus considérable. Les envois faits à cette destination en 1851 et 1852 se sont respectivement élevés à 464.559 et à 501.058 tonnes.

Quant à la valeur totale des articles de quincaillerie et de coutellerie exportés en 1852, elle s'est élevée à 67.292.425 fr.; elle avait atteint, l'année précédente, 70.675.275 fr. Ce sont

encore les États-Unis qui se trouvent à la tête des pays de destination ; car ils ont reçu en 1852 plus du tiers de l'exportation générale de l'Angleterre.

(Extrait de documents transmis à M. le ministre des affaires étrangères, par M. le consul général de France à Londres.)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME CINQUIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

CHIMIE.

MÉCANIQUE.— EXPLOITATION.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME CINQUIÈME.

FIN DU TOME CINQUIÈME.

ERRATA.

Page 348, ligne 11e, n° 100 : *dans* les couvre-joints, *lisez : sans* les couvre-joints.

Page 357, ligne 8e, n° 108 : *le même*, lisez : *la même*.

Page 387, note : 6.400 *mètres*, lisez : 3.400 *mètres*.

Voici les éléments principaux de ce grand ouvrage, monument qu'élève au delà de l'Océan une activité industrielle qui se sent à l'étroit dans la métropole.

Il sera construit dans le système tubulaire, sur piles en maçonnerie.

Nombre des travées, 25.

		mèt.
Ouverture entre les parements.	Travée du milieu.	100,65
	Les 24 autres. . . .	73,81
	Débouché.	1.872,09

		mèt.
Largeur des tubes.		4,88
Hauteur	au milieu.	6,71
	aux extrémités.	5,80

Les entrepreneurs Peto, Brassey et Betts exécutent, sous la direction immédiate de M. Ross et sous le contrôle de M. Stephenson. La dépense totale est évaluée à 35 millions de francs.

C.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Ce, RUE RACINE, 26.

...t E F.

... à flammes

2. Coupe suivant

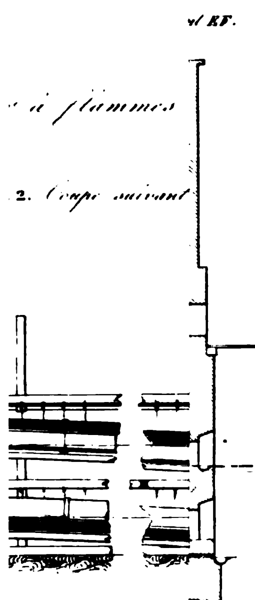


Fig. 7. Coupe suivant G.H.I.K.

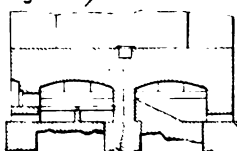
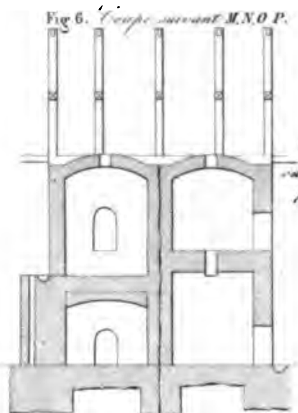
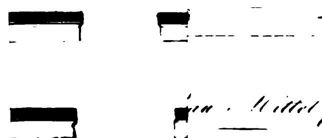


Fig. 6. Coupe suivant M.N.O.P.



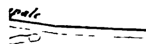
Chambre où aboutissent les tuyaux.

3. Coupe suivan...



...n. Mittelfeld

...llage entre les Puits Florian ... Krystallnig.



...pale

1. Coupe suivant

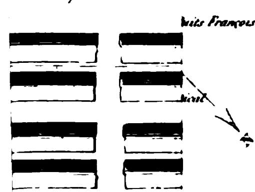
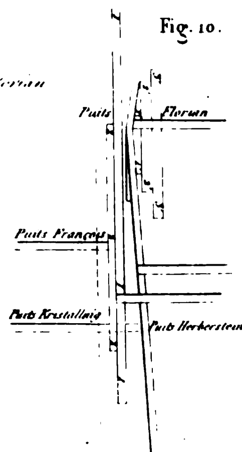
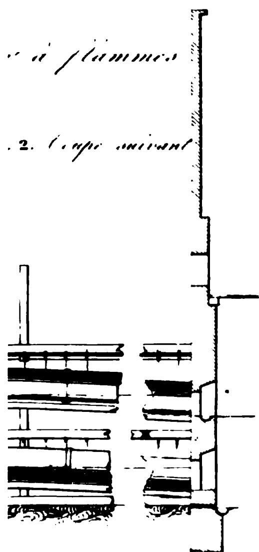
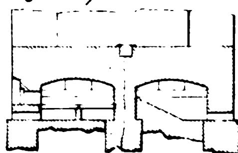


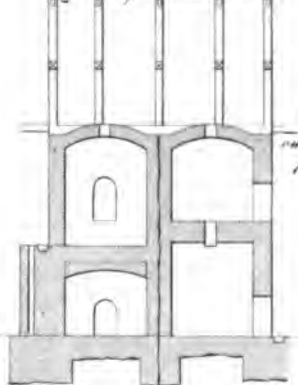
Fig. 10.

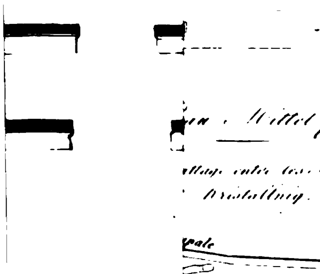


Lemaitre sc.

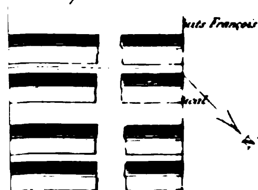

nt EF.
e à flammes
. 2. Coupe suivant

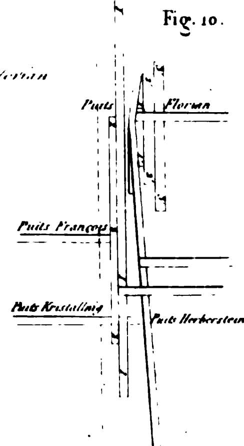

Fig. 7. Coupe suivant G.H.I.K.


Fig. 6. Coupe suivant M.N.O P.
Chambre
ou aboutissent
les tuyaux.


3. Coupe suivan
Mittel feld
Puits Florian
Kristallnig.




.1. Coupe suivant
Puits François

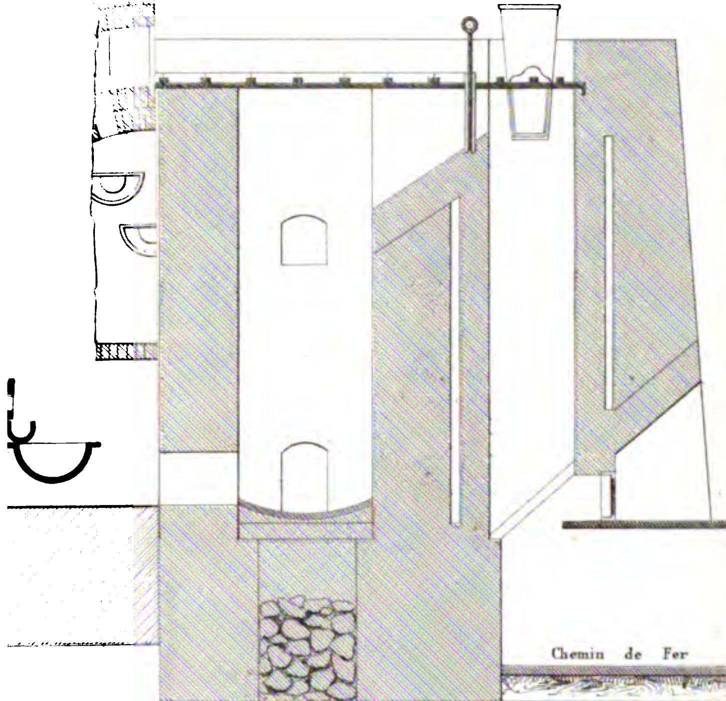

Fig. 10.
Puits
Florian
Puits François
Puits Kristallnig
Puits Herberstein

Lemaitre sc

…tement des …

…Hähner.

…ne sur EF.



…Hähner. Plan.

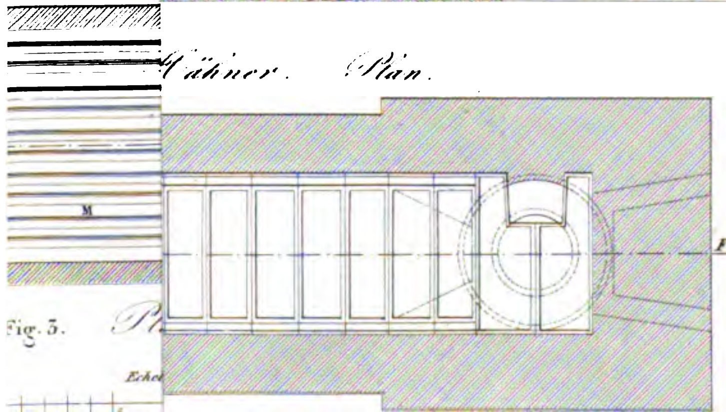
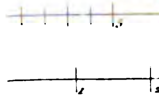


Fig. 3. *Pl…*

Eche…



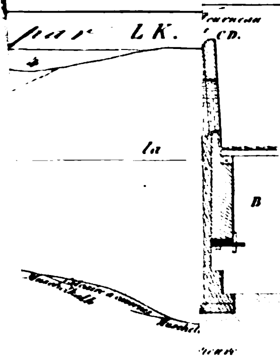


Fig. 11. Coupe du Fourneau de fusion suiv.t EF.

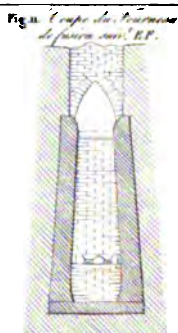


Fig. 12. Coupe du Fourneau de fusion suiv.t AB.

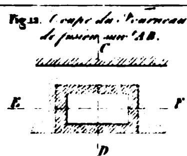


Fig. 16 et 17. Plan et Coupe du Fourneau de raffinage.

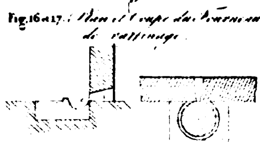
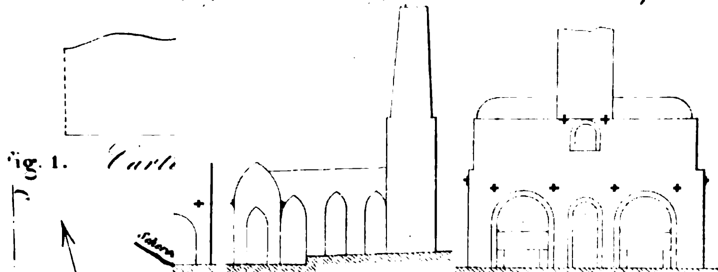
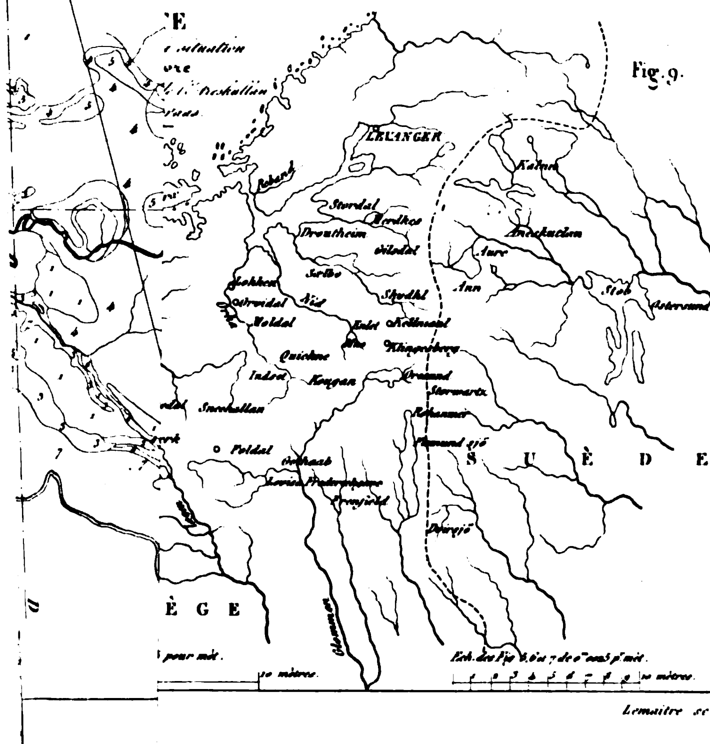


Fig. 15. Vue de côté du Fourneau de raffinage.

Fig. 13. Vue antérieure du massif de deux Fourneaux de fusion

Fig. 1. Carte

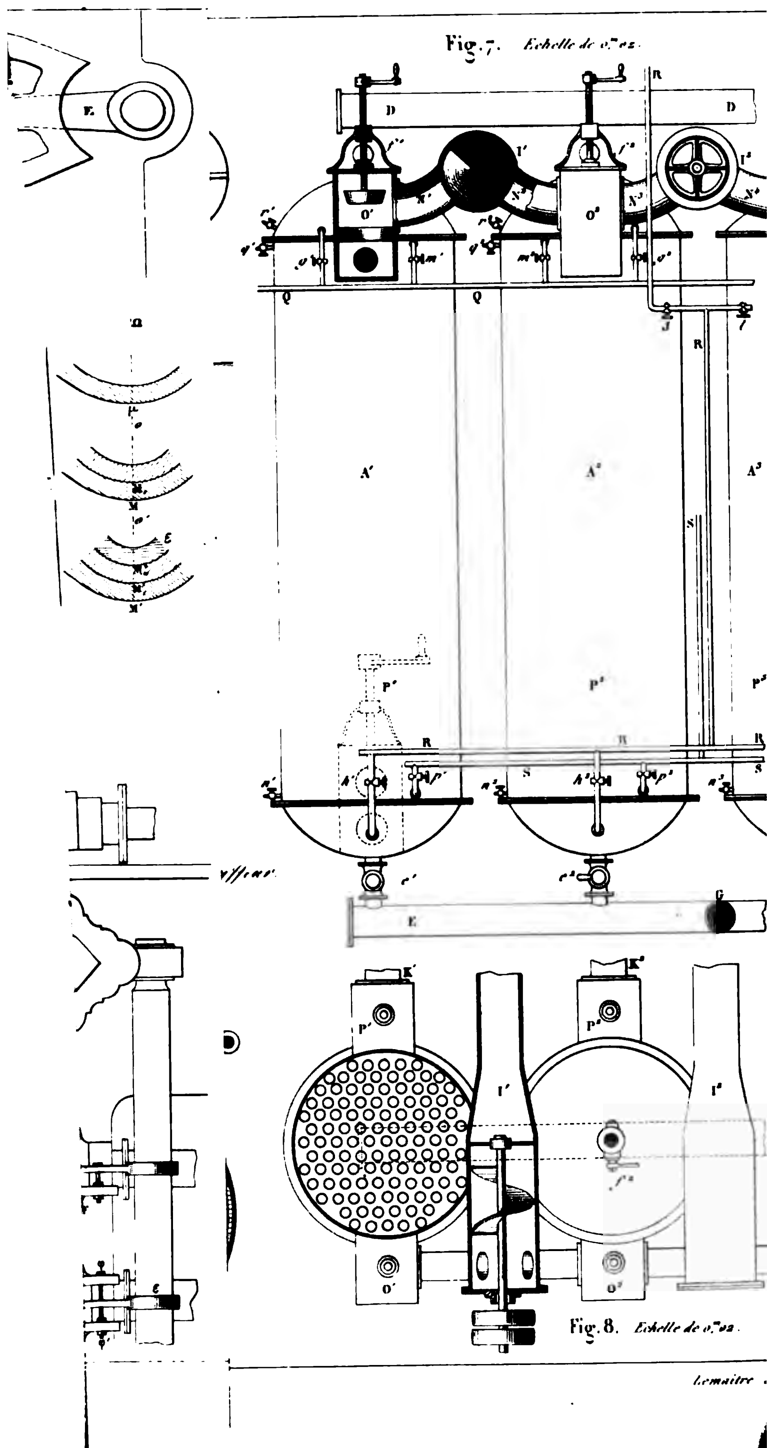


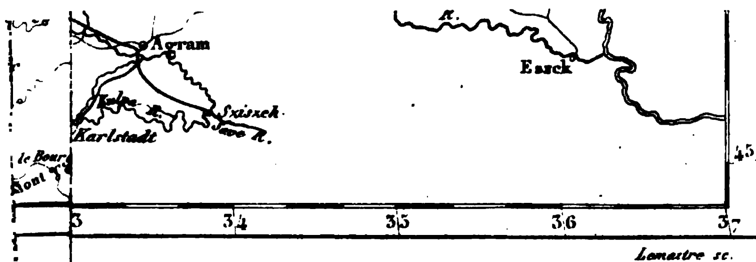


Éch. des Fig. 6 à 17 de 0m.0025 p.r mèt.

10 mètres

Lemaitre sc.


Fig. 7. Echelle de 0.m02.
D
D
A'
A²
A³
E
G
Fig. 8. Echelle de 0.m02.
Lemaitre


Agram
Sxissek
Kulpa R.
Save R.
Karlstadt
Esseck
R.
le Bour
Mont
45
3
34
35
36
37
Lemaitre sc.

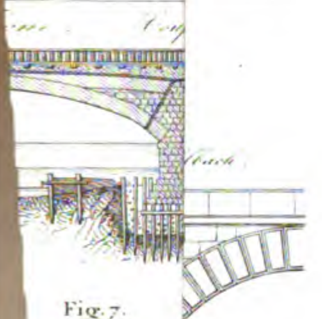
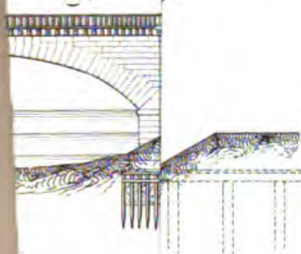
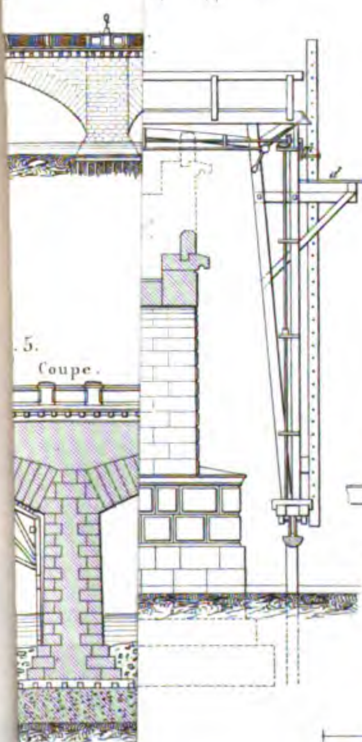


Fig. 7.





. 5.

Coupe.

Grue de grandeur moyenne.

Élévation latérale.

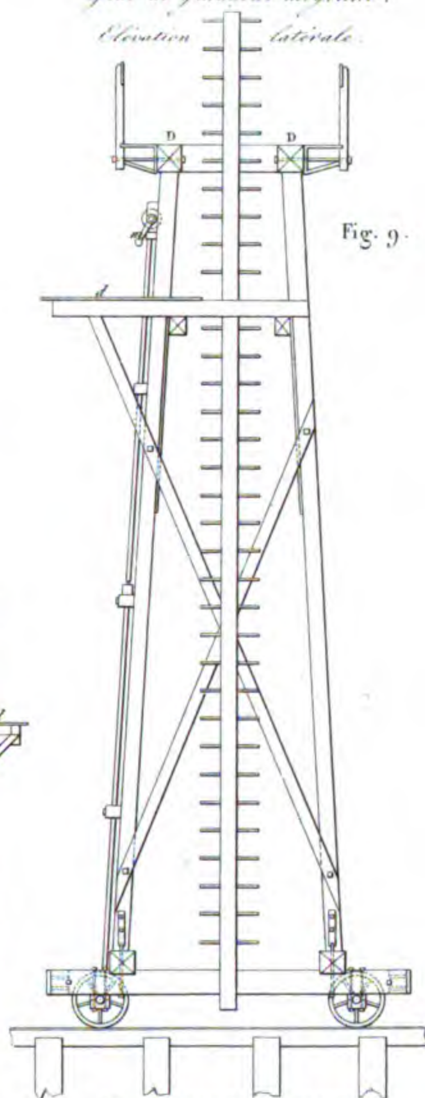


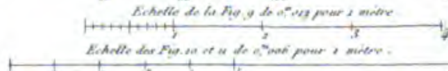
Fig. 9.

Echelle des Fig. 1. 2 et 5 de 0.m 0024 pour 1 mèt.

Echelle des Fig. 3. 6. 7 et 8 de 0.m 0012 pour 1 mèt.

Echelle de la Fig. 4 de 0.m 00024 pour 1 mètre.

Echelle de la Fig. 9 de 0.m 012 pour 1 mètre.

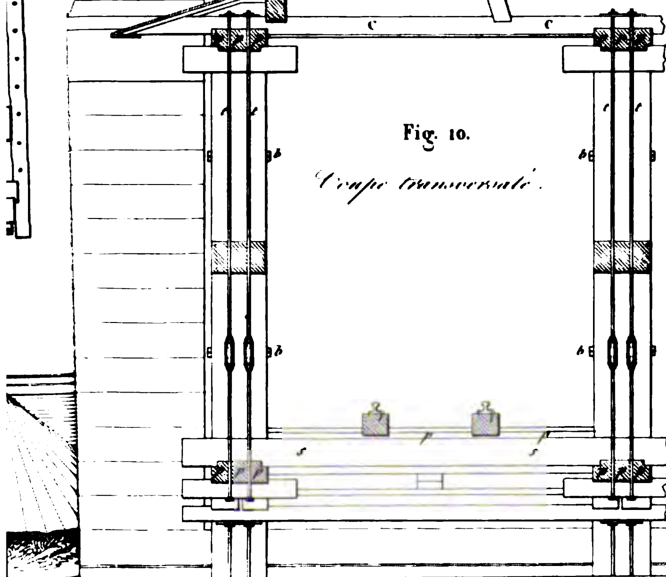


Echelle des Fig. 10 et 11 de 0.m 006 pour 1 mètre.

Lemaitre

Fig. 9. Pont de Poganck.

…ion partielle d'une travée extrême, et Coupe longitudinale.



Lemaitre sc

Fig. 15.

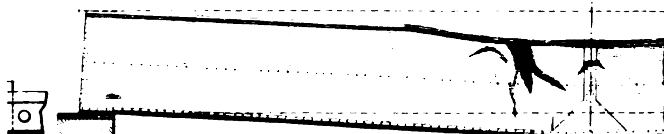
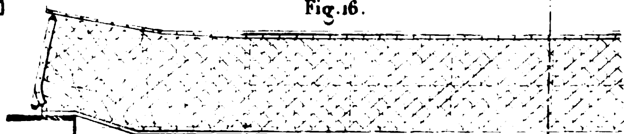
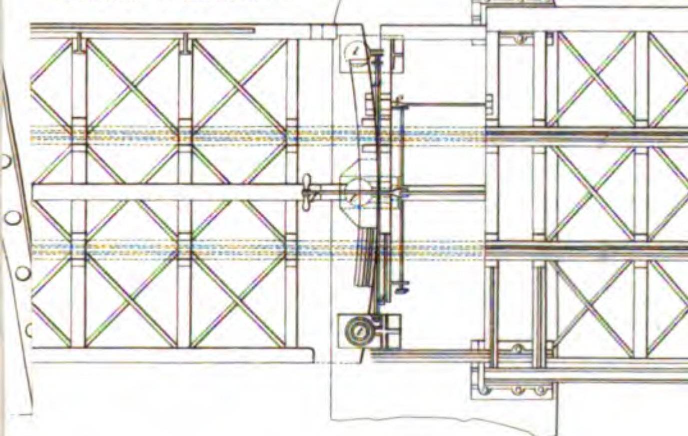


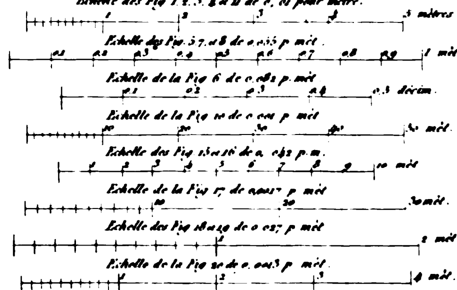
Fig. 16.



Élévation générale.







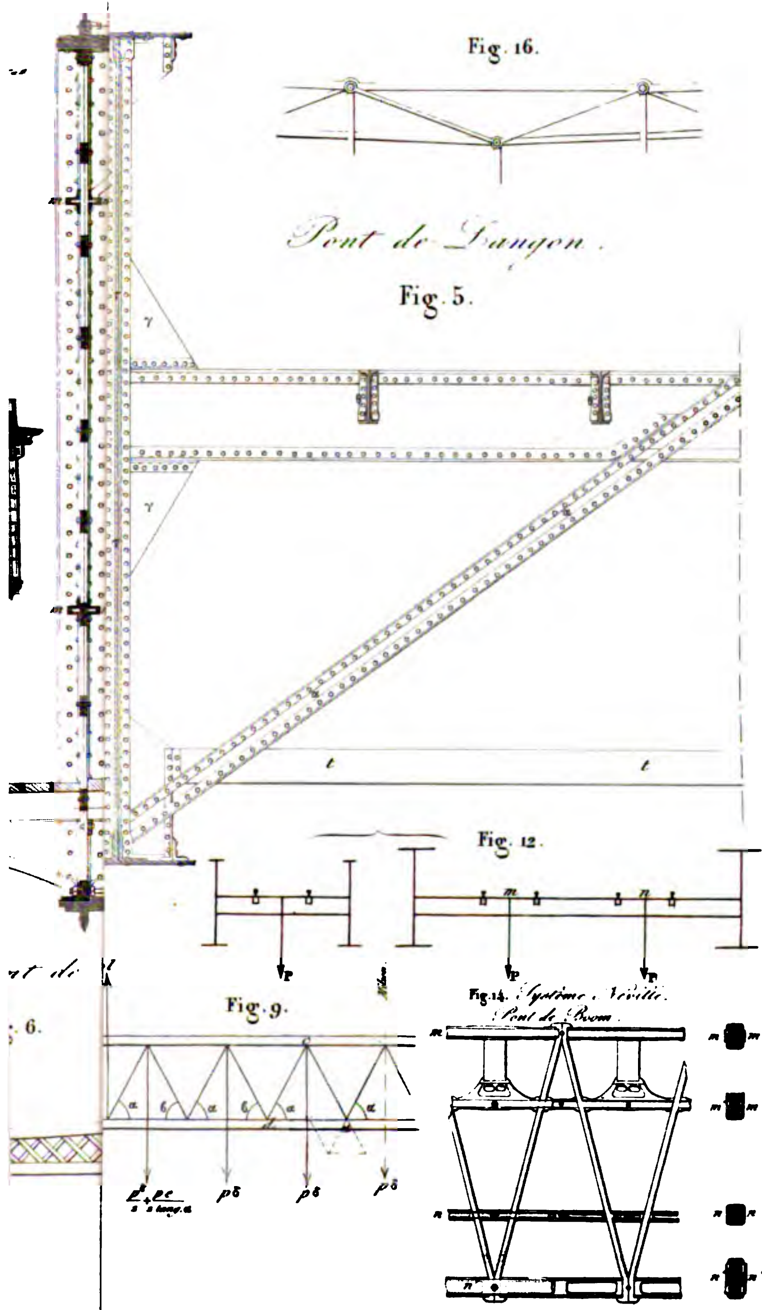
Lemaitre sc.









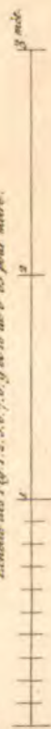

Fig. 16.
Pont de Langon.
Fig. 5.
Fig. 12.
Fig. 9.
Fig. 14. Système Neville. Pont de Boom.
6.

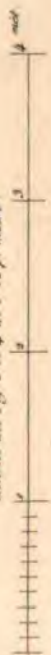
Lemaître sc









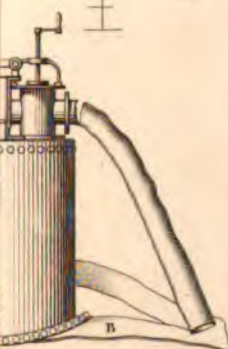


bout

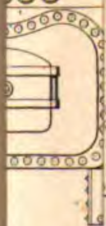
plosion.

5.





du dôme.





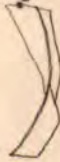


Fig. 10.

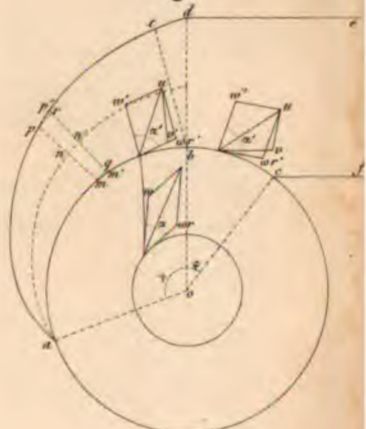


Fig. 11.



Fig. 12.

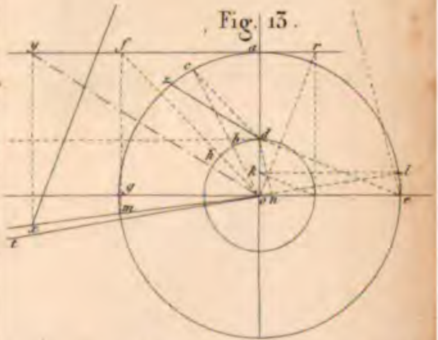
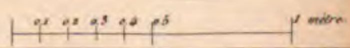


Fig. 13.



Lemaitre s.

...ion du fer dans la Cochinchine.

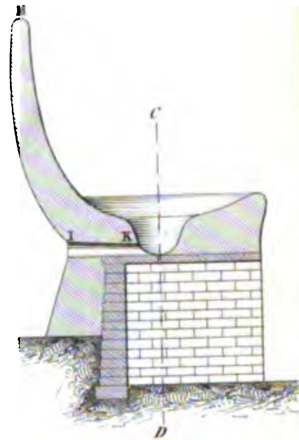
GÉOLOG...

...ération

Antir...

France e...

Fig. 2. Coupe par AB.



Coupe par CD.

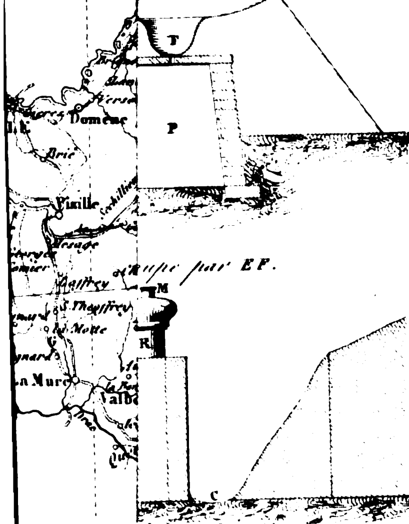


Fig. 8. Marteau.

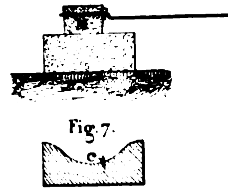
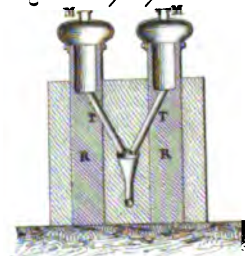


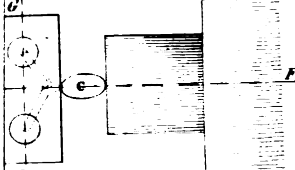
Fig. 7.

Coupe par EF.

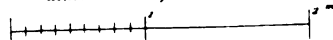
Fig. 6. Coupe par GH.



Plan de l'usine.



Echelle de 0m02 pour mètre.



de trop
terrains
es et des
bondent

... Foyer pour le travail du Fer chez les Annamites.

... et 8. Foyer, Soufflerie, Marteau et Plan de l'Usine chez les Cedans.

3 4

pages 4?3 et

Lemaitre

me étage | du terrain anthraxifère supérieur.

me étage

er étage

errain anthraxifère inférie

errain de protogine.

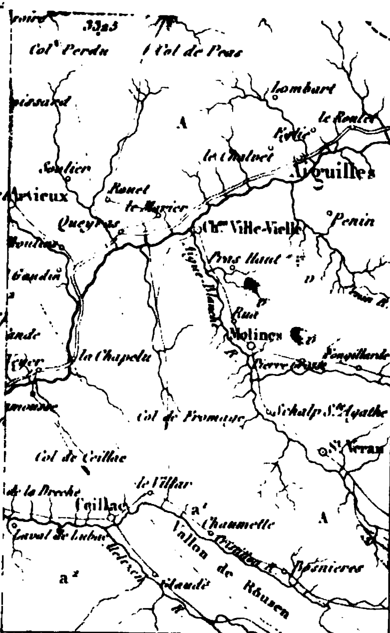
erpentine, Euphotide, Porp

pilite.

Roches cristallines du terr
nthraxifère supérieur.

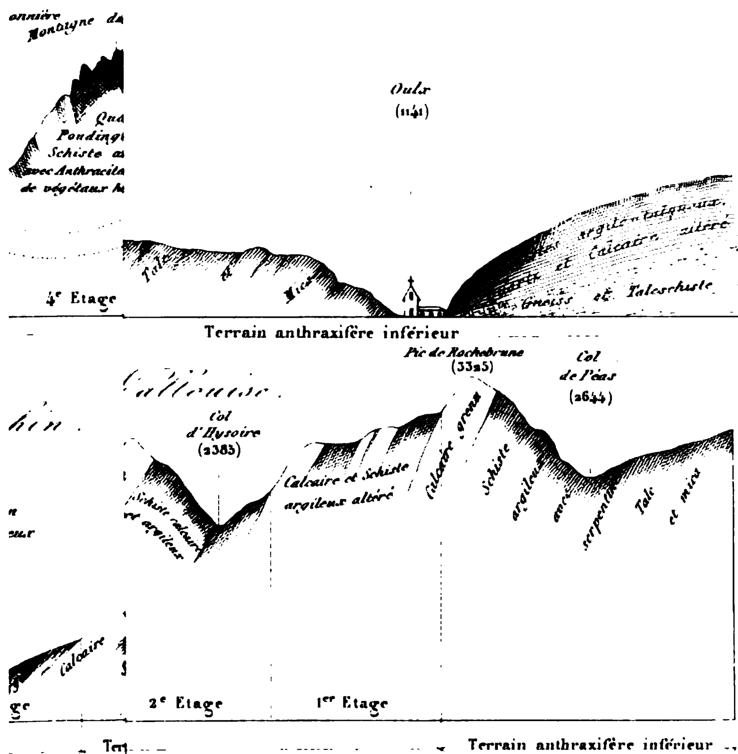
Echelle de 1 à 250,000.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

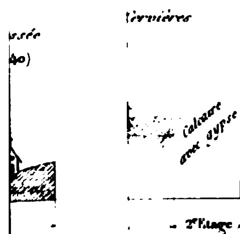


Lemaitre sc.

...anthracite de Briançon.



...de Fréjus.



Nota. *Les Coupes Nos 1, 2 et 3 sont à l'échelle de $\frac{1}{50,000}$ pour les hauteurs, et de $\frac{1}{125,000}$ pour les distances horizontales.*

Les chiffres entre parenthèse expriment les altitudes.

Lemaitre sc.